الوقاية
فى
الشبكات الكهربائية
النظم والنماذج
الجزء الثانى

PROTECTION OF
Electrical Networks

دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد





مراجعة
دكتور مهندس
فايق فريد

الوقاية في الشبكات الكهربائية

النظم والنماذج

الجزء الثانى

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

مراجعة

دكتور مهندس

فايق فريد

تصميم الغلاف

م/ أحمد طه هاشم

بسم الله الرحمن الرحيم

" قالوا سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا
إنك أنت العليم الحكيم "

صدق الله العظيم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يتميز علم الوقاية بكثرة المصطلحات وقد تعود المهندسون القائمون بالعمل فى هذا المجال على هذه المصطلحات باللغة الانجليزية ، لذلك لم يكن من السهل الكتابة باللغة العربية فى هذا العلم ، ولكن نظراً إلى الإتجاه الى تعريب العلوم عامة فقد شجعنى ذلك للكتابة فى علم الوقاية .

وقد كان استقرار الشبكة القومية للكهرباء فى مصر وتوجيهات السيد المهندس / **محمد ماهر أباظة** وزير الكهرباء والطاقة ودفعه لمزيد من الاستقرار دافعاً ومشجعاً لمحاولة متواضعة للكتابة فى علم الوقاية .

ولا يفوتنى أن أتقدم بالشكر للسيد المهندس / **أحمد مصطفي المفتي** رئيس مجلس الادارة والعضو المنتدب باسمى واسم المهندسين والفنيين اللذين استفادوا بمجموعة الكتب التى صدرت باللغة العربية وعلى استمرار تشجيع سيادته الدائم للبحث العلمى .

وقد قام بمراجعة الكتاب السيد الدكتور المهندس / فايق فريد الذى بذل جهداً مشكوراً فى المساهمة فى اخراج هذا الكتاب على هذه الصورة .

وقد وافق السيد المهندس / رئيس مجلس الادارة على طباعة الكتاب على نفقة الشركة بدار الجامعيين للطباعة والنشر والتى قامت بجهد مشرف فى طباعتة واخراجه على هذا النحو .

وفقنا الله وإياكم الى ما فيه خير بلدنا ، وصلى اللهم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم .

د . كاميليا يوسف محمد

الاسكندرية فى نوفمبر ١٩٩٦

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

تمثل متممات الوقاية أهمية خاصة فى نظم القوى الكهربائية فهى المسئولة عن الاحساس بأى عطل أو خلل قد يطرأ فى أى مكون من هذه النظم بدءاً من التوليد الى النقل الى التوزيع ثم الاستخدام ، وبعد احساسها بذلك العطل فإنها تقوم بإصدار الأمر الى المهمات المختصة بعزل ذلك العطل أو الخلل بشكل انتقائى يستهدف استمرار التغذية الكهربائية فى باقى النظام مع المحافظة على سلامة المهمات والأفراد .

وانطلاقاً من هذه الأهمية كان التطور فى متممات ونظم الوقاية مستمراً للأخذ بنتائج التطورات التكنولوجية ونتائج البحوث المستمرة فى نظريات الوقاية ذاتها .

وبعد التطورات المستمرة فى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية جاءت متممات الوقاية الاستاتيكية والرقمية ثم الوقاية باستخدام الكمبيوترات .

وقد دفعت هذه التطورات السريعة مؤلفة الكتاب الى اعداد كتاب عن الوقاية تقدم فيه كل ذلك مع التركيز على متممات الوقاية الاستاتيكية والرقمية كى يكون تحت ايدى المهندسين المشتغلين بالوقاية .

وايماناً منها بأهمية نقل المعرفة باللغة القومية فقد أعد الكتاب باللغة العربية فى وقت لم يتم فيه تعريب العلوم الهندسية . وتطلب كل ذلك التصدى للمصطلحات والتعبير الهندسى فجاء هذا الكتاب الذى يعنى جهداً دوءباً مبذولاً تخطى كل هذه المصاعب .

واستشعاراً لأهمية ذلك العمل فقد سعدت بدعوتى لمراجعة ذلك المؤَلَف راجياً أن يسهم جهدى المتواضع مع الجهد الأساسى للمؤلفة حتى يخرج الكتاب فى الصورة المأمولة .

ويقع هذا الكتاب فى ثلاثة أجزاء :

الجزء الأول : يغطى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية ونظرية تشغيلها ومكونات

الوقاية الاستاتيكية واستخداماتها والدوائر الالكترونية والدوائر المتكاملة .

الجزء الثانى : ويتناول نظم الوقاية من زيادة التيار والتسرب الأرضى وزيادة وانخفاض الجهد والأجهزة الاتجاهية والتفاضلية والمسافية والموجات المحملة وفصل الاحمال والتعشيق الذاتى .

وان شاء الله يتبع ذلك :

الجزء الثالث : ويتناول تطبيقات الوقاية للخطوط والكابلات والمحولات والمولدات والممانعات والمحركات والقضبان الرئيسية ووسائل الاختبار .

وفى ختام هذه المقدمة كم نود أن يحقق هذا الكتاب الفائدة المستهدفة فى هذا الميدان .

والله الموفق

دكتور نايق فريد

القاهرة فى نوفمبر ١٩٩٦

الفهرس

الباب الأول
المقارنات
COMPARATORS

يستخدم المقارن بمتممات الوقاية لمقارنة كميتين فعالتين مؤثرتين ، من حيث القيمة أو الزاوية أو الإثنين معاً ، ومن أمثلة ذلك :

- المتمم التفاضلى ذو التيار الدائرى *Circuilating Current Differential Relay* فى هذا النوع يقارن التيار الداخل بالتيار الخارج إلى ومن المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية *(Protected Zone)*

- متمم الوقاية المسافية *Distance Relay*

فى هذا النوع يتم مقارنة النسبة بين الجهد والتيار .

تصنف أنواع المقارنات كالآتى :

1) مقارن القيمة	*Amplitude Comparator*
2) مقارن الزاوية	*Phase Comparator*
3) مقارن هجينى	*Hybrid Comparator*

ونوضح فيما يلى كل نوع على حدة :

أولاً : مقارن القيمة *Amplitude Comparator*

يمكن أن يكون مقارن القيمة من النوع الكهرومغناطيسى أو الاستاتيكى وقد ذكرنا فى الجزء الأول من كتاب «الوقاية فى الشبكات الكهربائية» مقارنات القيمة من النوع الكهرومغناطيسى الآتية :

1) متممات ذات حافظة مفصلية *Hinged Armature Relays*
2) متممات ذات ذراع الإتزان *Balance Beam Relays*
3) متتمات ذات ملف متحرك (ملفين) *Moving Coil Relays (Two Coils)*

4) متممات ذات قرص تأثيرى (مجالين كهرومغناطيسيين للتشغيل والتقيد)
Induction Disc Relays (Operate and Restraint Electromagnets)

5) متمم ذو جزء حديدى قطبى متحرك *Polarized Moving Iron Relay*

جميع هذه الأنواع تعتبر من المتممات ذات المدخلين فيما عدا النوع الأول فيعتبر متمم ذو مدخل واحد .

أما مقارنات القيمة من النوع الاستاتيكى فيوجد منها أنواع متعددة ، والتى تحتاج لتشغيلها إما مدخلى جهد أو مدخلى تيار أو مدخل جهد وآخر تيار ، هذه الأنواع هى :

1) مقارنات قنطرة توحيد *Rectifier Bridge Comparators*

وتصنف حسب نوع المدخل كالآتى :

أ) مقارن التيار الدائرى *Circuilating Current Comparator*

ب) مقارن الجهد المضاد *Opposed Voltage Comparator*

ج) المقارن بإستخدام المقارنة المباشرة *Direct Comparison Comparator*

2) مقارنات المكبر المغناطيسى *Transductor Comparators*

3) مقارنات العينة *Sampling Comparators*

فى أى من المقارنات السابقة يتم مقارنة كميتى المدخلين ، بينما لا تمثل الزاوية بين المدخلين أى أهمية فى مقارنات الكمية .

ولو فرضنا وجود مدخلين لهما كمية ذات إتجاه $\overline{A}, \overline{B}$ فإنه يمكن مقارنة الكميتان $/A/, /B/$ بإحدى الطريقتين الآتيتين :

1) يوضح شكل *(1-1)*أ المدخلين $\overline{A}, \overline{B}$ ، ويكون المخرج هو الفرق العددى بين الكميتين $/A/$, $/B/$ والذى يمكن أن يكون أحد هذه الحالات :

* قيمة المخرج موجبة : إذا كان $/A/ > /B/$
* قيمة المخرج سالبة : إذا كان $/A/ < /B/$
* قيمة المخرج صفر : إذا كان $/A/ = /B/$

2) يوضح شكل *(1-1)*ب المدخلين $\overline{A}, \overline{B}$ ويكون المخرج هو النسبة $/A/ / /B/$

والذى يمكن أن يكون أحد هذه الحالات :

* قيمة المخرج أكبر من الواحد الصحيح : إذا كان $|A| > |B|$
* قيمة المخرج أقل من الواحد الصحيح : إذا كان $|A| < |B|$
* قيمة المخرج تـســاوى صــفــــر : إذا كان $|A| = 0.0$

فمثلاً إذا كان $|A| / |B| \leq K$ ، حيث K قيمة ثابتة ، فنحصل من هذا المقارن على خاصية دائرة نصف قطرها يساوى K ، ومركزها نقطة الأصل ، كما فى شكل *(1-1)*ج. ويعرف المدخل $\overline{A}$ بأنه كمية التشغيل *(Operating Quantity)* بينما يعرف المدخل $\overline{B}$ بأنه كمية التقييد *(Restraining Quantity)* .

فيما يلى توضيح لأنواع مقارنات القيمة :

1) **مقارنات قنطرة التوحيد** *Rectifier Bridge Comparators*

أ) **مقارن التيار الدائرى** *Circuilating Current Comparator*

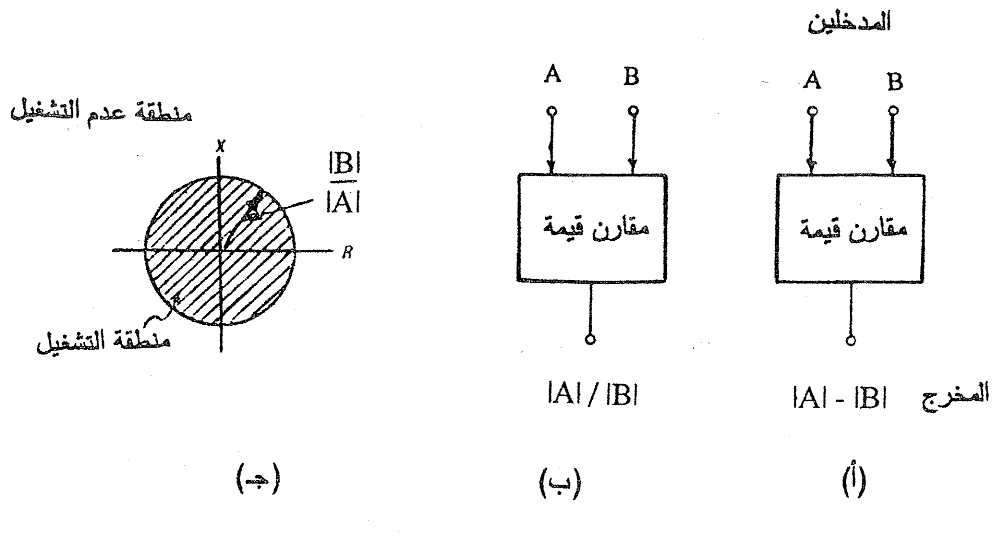
يبين شكل *(1-2)* هذا النوع والذى يتكون من قنطرتى توحيد ، كل قنطرة تغذى بالتيار من خلال محول تيار مساعد (محول عزل) ، وتتكون قنطرة التوحيد من ديودات من السيليكون *(Silicon)* أو السلينيم *(Selenium)* وتعرف أحد القنطرتين بقنطرة التشغيل *(Operate)* ويمر بها تيار التشغيل i_o وتعرف القنطرة الأخرى بقنطرة التقييد *(Restrain)* ويمر بها تيار التقييد i_r .

ومخرج القنطرتين عبارة عن القيمة المتوسطة لفرق التيارين i_o, i_r أى $(i_o - i_r)$ والذى يستخدم لتشغيل عنصر المخرج للمتمم والتى يمكن أن تكون :

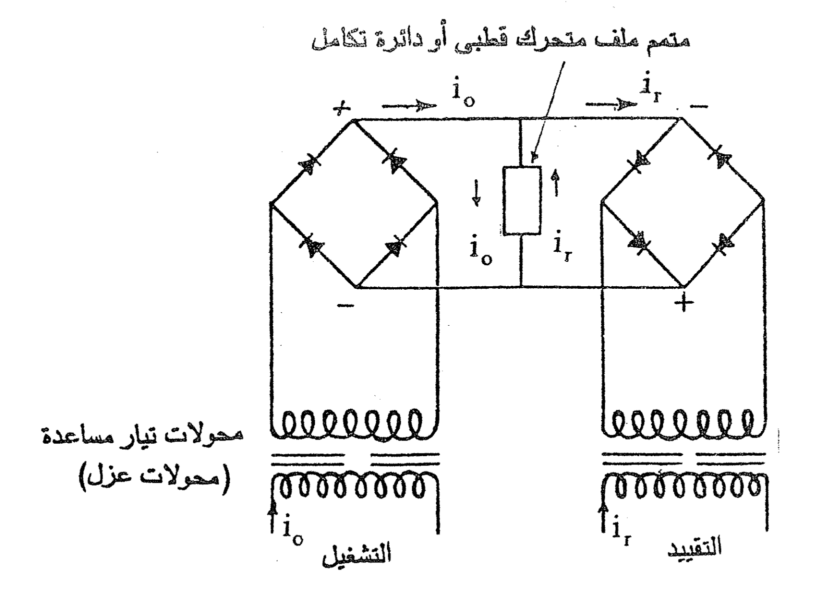
1) إما متمم ملف متحرك قطبى *Polarized Moving Coil Relay*

2) أو دائرة تكامل *Integrating Circuit* وكاشف مستوى *Level Detector*

وبفرض أن تيار التشغيل i_o يساوى صفراً ، فتمر قيمة صغيرة لتيار التقييد i_r بالملف فى إتجاه التقييد مسببة زيادة قيمة الهبوط فى الجهد *Voltage Drop* بين طرفى الملف . وعند زيادة قيمة i_r ترتفع قيمة الهبوط فى الجهد بين طرفى الملف ، حتى تصل إلى القيمة v_t (وهى قيمة جهد البداية اللازم لتشغيل القنطرة ، وتساوى



شكل (1-1) مقارنة الكميتان A , B



شكل (2-1) مقارن التيار الدائرى

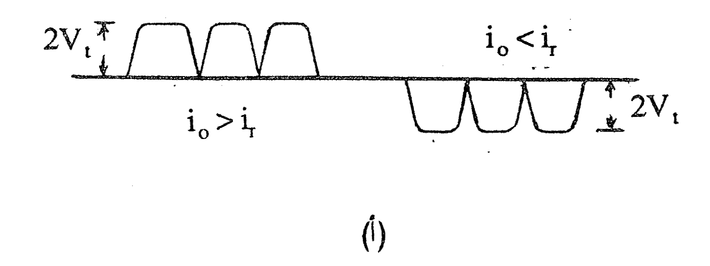
ضعف قيمة جهد البداية لكل ديود) وبذلك تتحول القنطرة الى حالة التوصيل ، ويمر تيار بالملف على شكل أنصاف موجات ذات قمة مفلطحة واسعة . ونحصل على نفس التأثير إذا كانت i_r تساوى صفراً بينما i_o تبدأ فى المرور فى الدائرة .

وعندما تمر القنطرتين لحظياً بجهد التشغيل فإن المتمم يتأثر بدقة للإختلاف الصغير بين التيارين i_r, i_o .

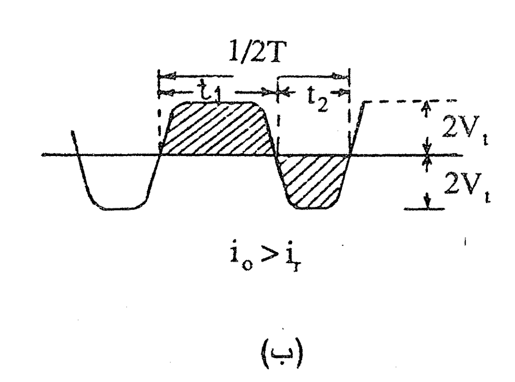
وبذلك يكون التيار المار بالمتمم دالة فى الإختلاف بين التيارين i_r, i_o ، وكما ذكرنا سابقاً فإن هذا المقارن لا يعتمد على الزاوية بين التيارين i_r, i_o ولكن عملياً يعتمد شكل الموجة على الزاوية . وهذا واضح من شكل *(1-3)* ، فعندما يكون التيارين i_r, i_o فى إتفاق مرحلى *(In Phase)* فإن شكل موجة المخرج تكون كما فى شكل *(1-3)*أ ، ويلاحظ أنه فى حالة i_o أكبر من i_r فإن موجة المخرج تكون موجبة وتقريباً مستمرة ، وإذا كانت i_o أقل من i_r فإنها تكون سالبة .

وعندما يكون التيارين i_r, i_o فى إختلاف مرحلى *(Out of Phase)* فإن شكل الموجة تكون كما فى الأشكال *(1-3)* ب،ج،د . ويلاحظ أنه فى حالة i_o أكبر من i_r فإن الجزء الموجب من الموجة يكون أكبر من الجزء السالب وعكس هذا فى حالة i_o أقل من i_r . بينما إذا تساوت i_r, i_o فإن الجزء السالب يكون مساوياً للجزء الموجب وتشغل كل منهما *0.25* من دورة تيار المدخل . وعلى ذلك فإن شكل موجة المخرج تكون عبارة عن نبضات ذات تردد مزدوج ، ويوضح شكل *(1-3)*هـ العلاقة بين التيار i_o-i_r والجهد v_l .

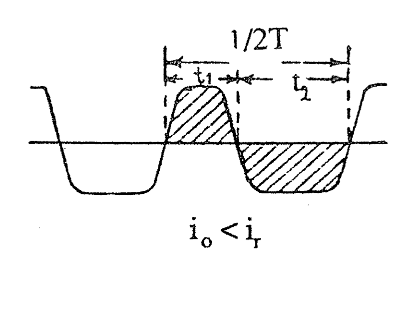
وللحصول على مصدر مثالى للتيارين i_r, i_o يجب أن تكون قيمة معاوقة المصدر كبيرة وذلك لمنع أى تأثير تبادلى *(Mutual)* بين القنطرتين ، ولمنع نفس التأثير تستخدم محولات عازلة *(Isolating Transformers)* بين مصدر التغذية وقنطرة التوحيد ، وتضاف دائرة تنعيم *(Smoothing Circuit)* ، تتكون من C, R ، للحصول على المخرج $|io| - |ir|$ ويتبين ذلك من الشكل *(1-4)* .



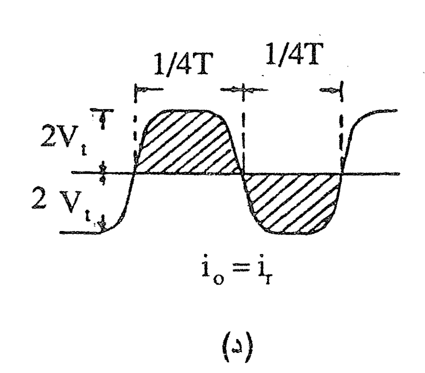
(أ)



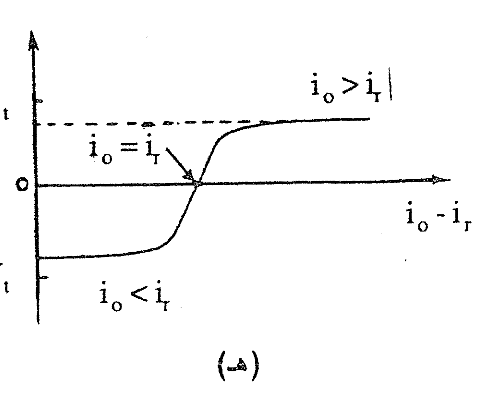
(ب)



(ج)



(د)



(هـ)

شكل (3-1) تيارات مقارن التيار الدائرى

ب) مقارن الجهد المضاد *Opposed Voltage Comparator*

فى هذا النوع تتغذى القنطرتين من الدوائر الثانوية لمحولات الجهد ، أحد هذين الجهدين هو جهد التشغيل V_o بينما الأخر هو جهد التقييد V_r ، وعندما يتساوى الجهدين يكون عزم مخرج المتمم يساوى صفراً ، ويعتمد تشغيل المتمم على القيمة المتوسطة لفرق الجهدين $/V_r/ - /V_o/$. ويبين شكل *(1-5)* هذا النوع .

ج) المقارن بإستخدام المقارنة المباشرة

Instantaneous or Direct Comparison Comparator

يوجد نوعان هما :

1) النوع ذو القيمة المتوسطة *Averaging Type*

فى هذا النوع يتم توحيد وتنعيم موجة مدخل التقييد *(B)* ، وتقارن بأقصى قيمة لموجة مدخل التشغيل *(A)* ، والذى يستخدم بدون توحيد أو بعد التوحيد ولكن لا يتم تنعيمه ،ونحصل على مخرج ، إذا كانت موجة التشغيل أكبر من موجة التقييد ، ويوضح شكل *(1-6)* أ الشكل التمثيلى بينما يوضح شكل *(1-6)* ب شكل الموجات *A, B,* *|A|, |B|* ، وموجة المخرج . ويعيب هذا النوع أن تنعيم موجة التقييد تتم بواسطة مكثف ، وهذا يؤدى إلى إضافة تأخير زمنى للمتمم ولمعالجة هذا العيب تستخدم الطريقة الثانية وهى :

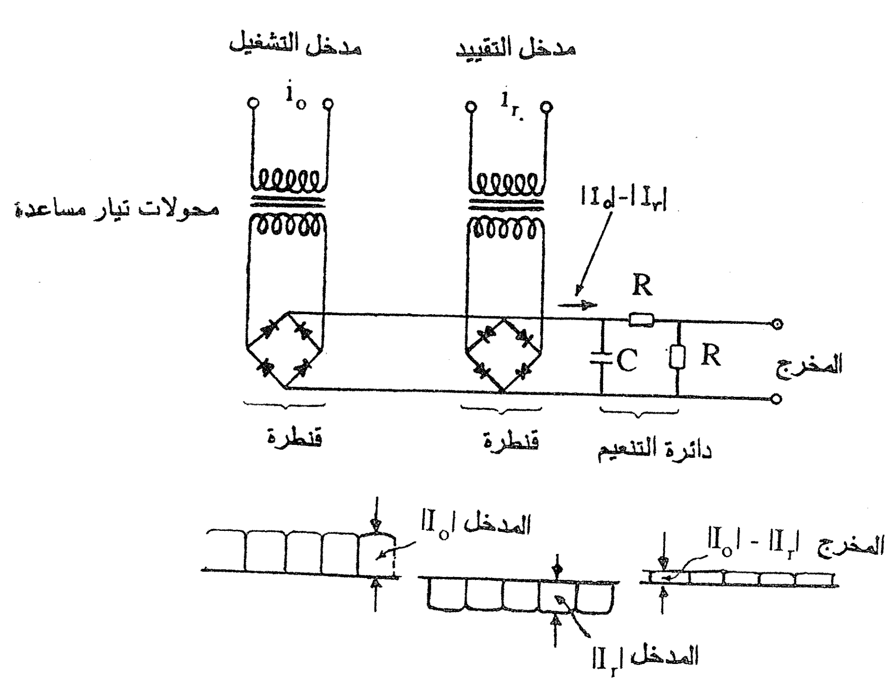
2) النوع ذو الوجه المشطور *Phase Splitting Type*

فى هذا النوع يتم تقسيم موجات المدخل الى عدد *6* مركبات بزاوية $60°$ والتى تؤدى إلى تنعيم المخرج فى حدود *5%* وبالتالى لا تحتاج ، هذه الحالة ، إلى دائرة تنعيم ، ويوضح شكل *(1-7)* دائرة شطر الوجه والتى تحتوى على العناصر التالية :

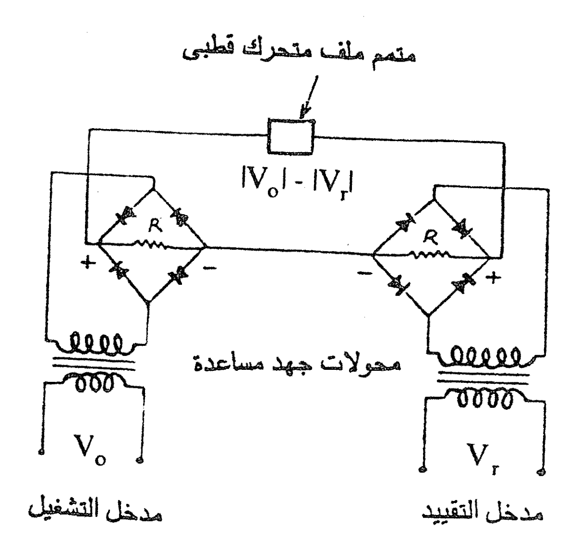
L, R للحصول على زاوية $120°$

C, R للحصول على زاوية $-120°$

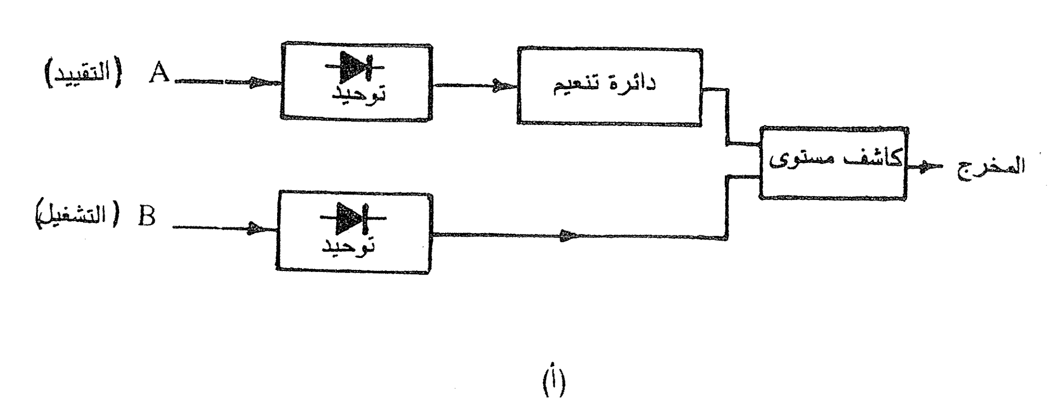
كما نحصل على زمن التشغيل بمعرفة ثابت الزمن للعناصر الموجودة بأفرع القناطر (بإستخدام *L* أو *C* مع *R*) وبذلك تكون العلاقة بين *R , X* لزاوية $60°$



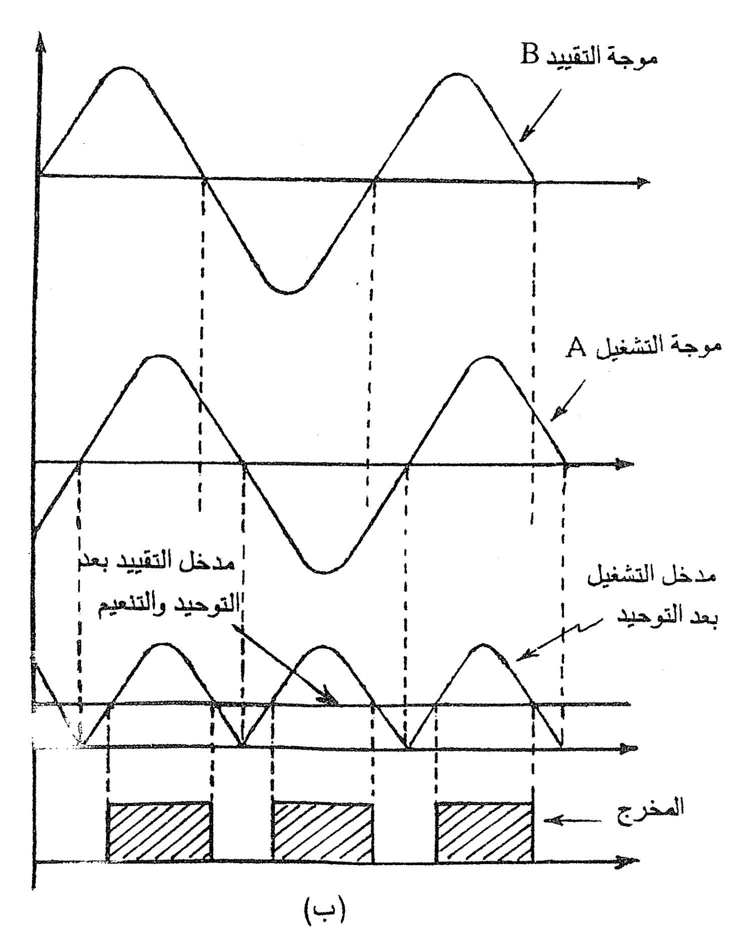
شكل (1-4) مقارن التيار الدائرى



شكل (1-5) مقارن الجهد المضاد



(أ)



(ب)

شكل (6-1) مقارن باستخدام المقارنة المباشرة (باستخدام القيمه المتوسطة)

(أو 120°) هى :

$$X = \sqrt{3}\ R.$$

ويكون ثابت الزمن لفرع يحتوى على L, R هو :

$$\frac{L}{R} = \frac{X}{R\omega} = \frac{\sqrt{3}}{\omega} = 5.5 \qquad ms$$

بينما ثابت الزمن لفرع يحتوى على C, R هو :

$$CR = \frac{R}{\omega X} = \frac{1}{\omega\sqrt{3}} = 1.84 \qquad ms$$

2) **مقارنات المكبر المغناطيسى** *Transductor Comparators*

يتكون المكبر المغناطيسى من ثلاثة ملفات هى :

* ملف إبتدائى ويغذى بمدخل التشغيل .
* ملف تحكم ويغذى بالمدخل المقييد (أحياناً يسمى ملف الحياز *Bias*) .
* ملف ثانوى يتم توصيله على متمم المخرج من خلال قنطرة توحيد .

ويتم التحكم فى مخرج المكبر عن طريق تغذية ملف التحكم بتيار مستمر والذى بدوره يتحكم فى نقطة التشبع للقلب المغناطيس .

ويبين شكل *(8-1)* مكونات المكبر المغناطيسى .

وعملياً لا يستخدم هذا النوع من المقارنات فى متممات الوقاية وذلك لإستجابته الضعيفة لحالة الجهود العابرة *(Transient)* .

3) **مقارنات العينة** *Sampling Comparators*

يعمل مقارن العينة على مقارنة قيمة موجة أحد المدخلين عند لحظة معينة مع موجة المدخل الآخر بعد توحيدهما وتنعيمهما .

ولتوضيح مقارن العينة نأخذ مثالاً لذلك عبارة عن فكرة الحصول على خاصية الممانعة *(Reactance Characteristics)* لمتمم وقاية مسافية ، يتم مقارنة القيمتين

الآتيتين :

* القيمة اللحظية للجهد عند اللحظة التى يكون عندها التيار مساوياً للصفر .

* قيمة التيار بعد التوحيد والتنعيم (أى القيمة المتوسطة للتيار) .

فإذا كان التيار I متأخراً عن الجهد V بزاوية θ فإن قيمة الجهد عند اللحظة التى عندها التيار يساوى صفراً هى $V_m \sin \theta$ (حيث V_m هى قيمة الذروة للجهد) .

ونحصل على مخرج من متمم ذى خاصية الممانعة إذا كانت ممانعة الجزء العاطل من الخط المركب عليه المتمم ، أقل من قيمة ضبط المتمم ، أى أن :

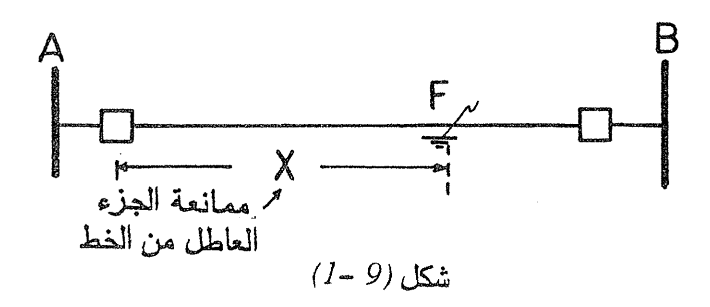
$$X < K$$

$$Z \sin \theta < K$$

$$\frac{V}{I} \sin \theta < K$$

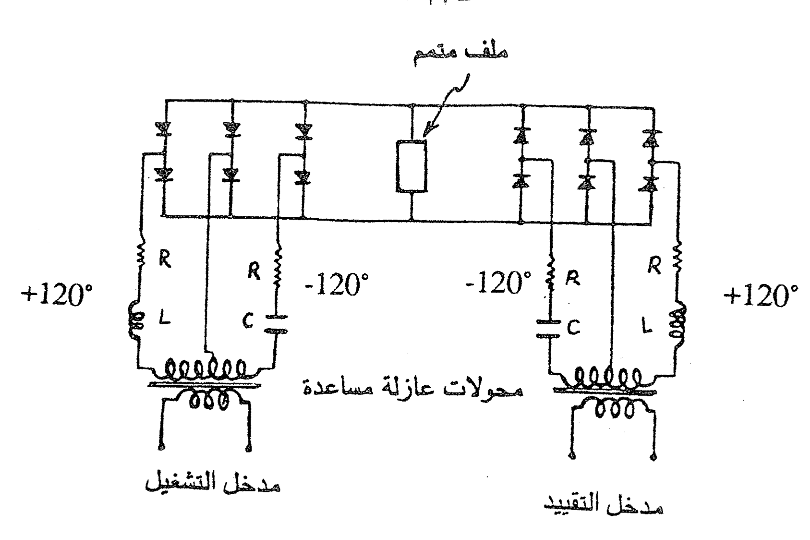
$$\frac{V_m}{\sqrt{2}} \sin \theta < K I_{av} \quad (1.11)$$

$$V_m \sin \theta < K^1 I_{av}$$

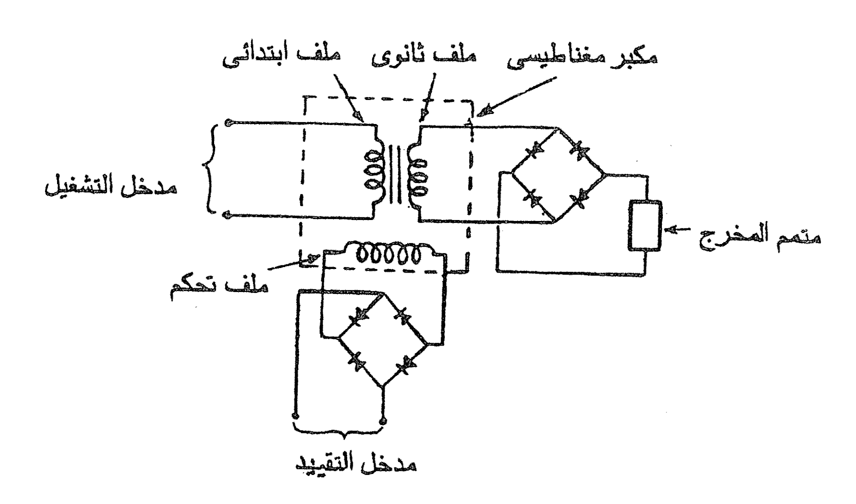


شكل *(1- 9)*

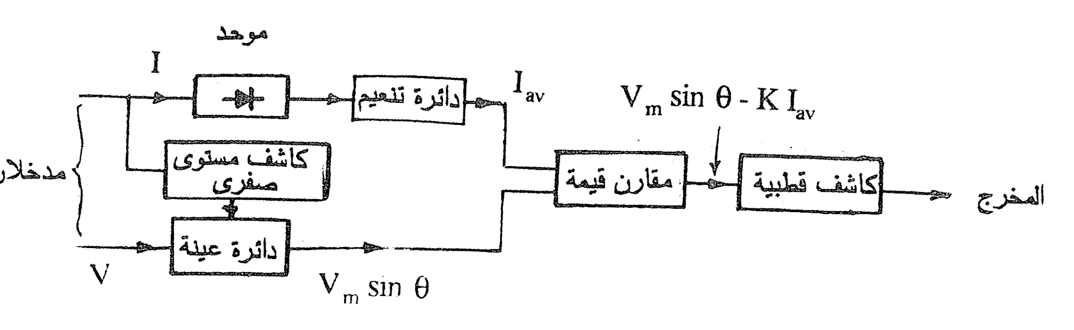
يوضح شكل *(1-10)* فكرة متمم ذو خاصية الممانعة ، بتوحيد وتنعيم التيار I نحصل على I_{av} ، وتنتج $V_m \sin \theta$ عن طريق تغذية الجهد V والتيار I (بعد مرورها على كاشف مستوى) على دائرة عينة ، ثم يتم مقارنة $V_m \sin \theta, I_{av}$ بدائرة كاشف القطبية *Polarity Detector*



شكل (7-1) المقارن ذو الوجه المشطور



شكل (8-1) مقارن المكبر المغناطيسى



شكل (10-1) متمم ذو خاصية الممانعة

نحتاج - فى بعض المتممات - إلى مقارنة القيمة اللحظية لأحد المدخلين عند لحظة معينة مع القيمة اللحظية للمدخل الآخر عند لحظة معينة أخرى أو عند نفس اللحظة ، هذا يعنى أن نحصل من موجتى المدخلين على عينتين .

ويأخذ نفس المثال ، وهو خاصية الممانعة لمتمم وقاية مسافية فإن :

$$X < K$$

$$Z \sin\theta < K$$

$$\frac{V}{I} \sin\theta < K$$

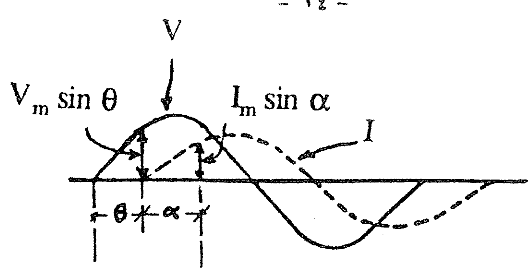
$$\frac{V_m}{\sqrt{2}} \sin\theta < K \quad \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha}$$

$$V_m \sin\theta < K` I_m \quad \sin\alpha$$

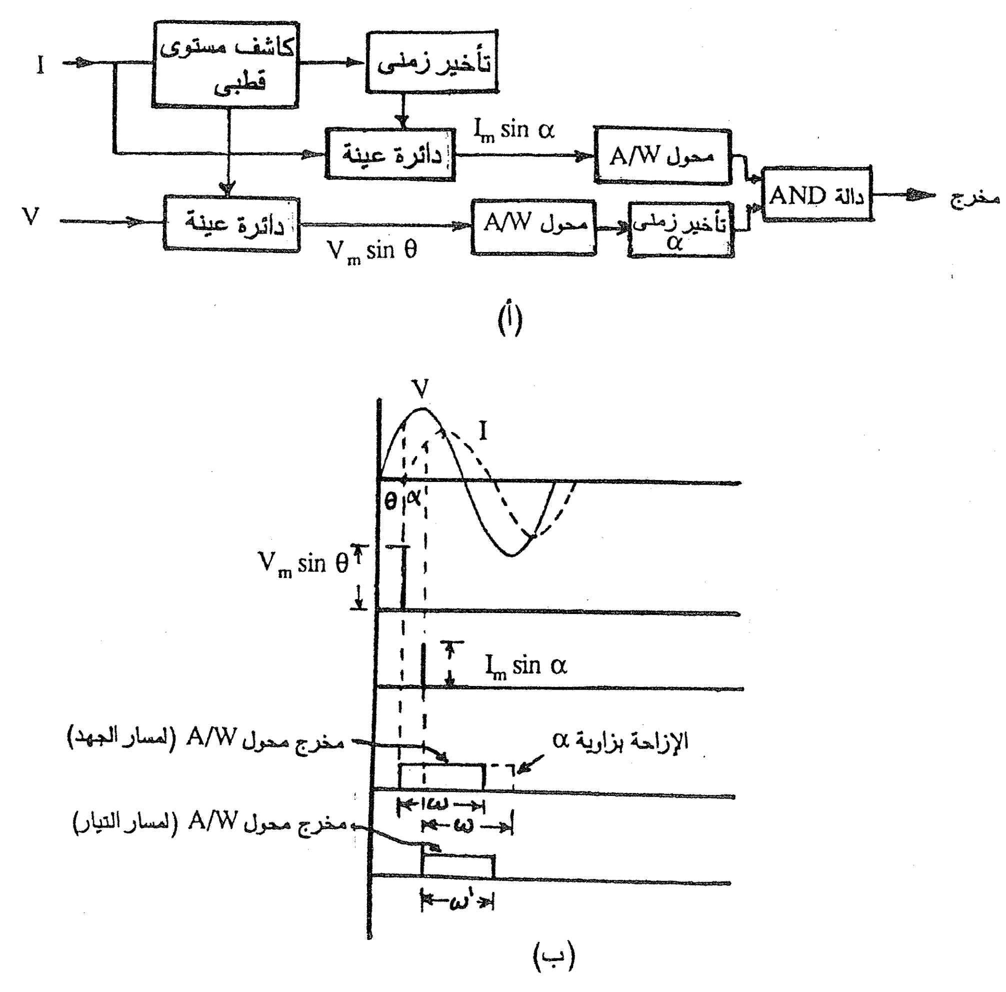
$$K` = \frac{K}{\sqrt{2}\ \sin\alpha}$$

ويوضح شكل *(1-11)* القيمتين اللحظيتين $Vm \sin\theta, Im \sin\alpha$. كما يبين شكل *(1-12)*أ الشكل التمثيلى لكيفية الحصول على عينتين لحظيتين ثم مقارنتهما عن طريق دالة *AND* . إذ يحتوى الشكل على دائرة للعينة *Sampling Circuit* ودائرة محول القيمة والمدى للنبضة *Amplitude Pulse Width Converter* ،والذى يرمز له بالرموز *A/W* ، وقد ذكرنا هاتان الدائرتان فى الجزء الأول من كتاب «الوقاية فى الشبكات الكهربائية» .

ويوضح شكل *(1-12)*ب شكل موجات المدخل V, I ، والعينتين $Im \sin\alpha$, $Vm \sin\theta$. ثم توسيع مدى العينتين بالقيمتين $\omega, \omega`$



شكل (1-11)



شكل (1-12) كيفية الحصول على عينتين لحظيتين

ثانيا : مقارن الزاوية *Phase Comparator*

المقصود بمقارن الزاوية هو مقارنة لموجتى مدخل (أو أكثر) إتجاهيا . وكثير من متممات الوقاية تحتاج لمقارنة الزاوية مثل أجهزة الوقاية التفاضلية والمسافية والإتجاهية ... وكما فى مقارنات القيمة توجد مقارنات زاوية من النوع الكهرومغناطيسى ومن النوع الاستاتيكى .

ومن أمثلة مقارنات الزاوية من النوع الكهرومغناطيسى :

* المتممات ذات القرص التأثيرى *Induction Disc Relays*
* المتممات ذات الصحن التأثيرى *Induction Cup Relays*

وقد ذكرت هذه الأنواع فى الجزء الأول من كتاب «الوقاية فى الشبكات الكهربائية» .

أما المقارنات الاستاتيكية فتوجد منها أنواع مختلفة مثل :

1) مقارنات الزاوية من نوع التطابق
Coincidence Type Phase Comparators

أ) مقارنات الزاوية من النوع المباشر أو ذات النتوءات والموجات المربعة
Direct or Block-Spike Phase Comparators

ب) مقارنات الزاوية من نوع شطر زوايا الوجه
Phase Splitting Type Phase Comparators

2) مقارنات حاصل ضرب المتجهان *Vector Product Comparators*

لتوضيح فكرة مقارن الزاوية ، وإفترضنا مقارن له مدخلين $\bar{A}, \bar{B}$ ، كما فى شكل *(1-13)*أ ، والذى يمكن الحصول منه على مخرج إذا كانت زوايا المدخلان لهما حدود معينة ومحدودة ، كما فى شكل *(1-13)*ب ، أى تعرف حالة التشغيل رياضياً كالتالى:

$$-\beta_1 \leq \alpha \leq +\beta_2$$

حيث β_1 زاوية موجة المدخل A ، β_2 زاوية موجة المدخل B ، α هى زاوية الإختلاف بين A, B

وإذا كانت $\beta_1 = \beta_2 = 90°$ فإن هذا المقارن يعرف بأنه مقارن جيب تمام الزاوية *(Cosine Comparator)* بينما إذا كان $\beta_1 = 0°$, $\beta_2 = 180°$ فإنه يعرف بمقارن جيب الزاوية *(Sine comparator)* .

فيما يلى توضيح لكل نوع :

1) مقارنات الزاوية من نوع التطابق

Coincidence Type Phase Comparators

معنى التطابق هو حدوث تداخل بين موجتين لهما نفس القطبية فى فترة زمنية محددة . فمثلاً فى شكل *(1-14)*أ نجد أن الموجتين *A, B* بينهما زاوية إختلاف α ، وتكون فترة حدوث التطابق هى $(180° - \alpha)$.

وتوضح الأشكال *(1-14)*ب،ج،د فترات تطابق مختلفة بين المدخلين *A, B* ففى شكل *(1-14)*ب نجد أن فترة التطابق أكبر من $90°$ ، بينما فى شكل *(1-14)*ج نجدها تساوى $90°$ ، أما فى شكل *(1-14)*د فتكون فترة التطابق أقل من $90°$

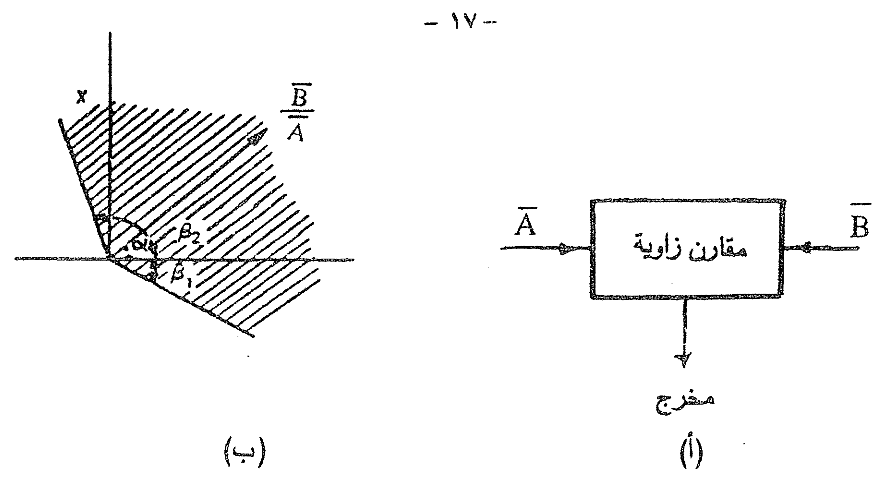
وتوجد طرق متعددة لقياس هذه الفترة بين مدخلين والتى نذكر منها :

أ) مقارنات الزاوية من النوع المباشر أو ذات النتوءات والموجات المربعة :

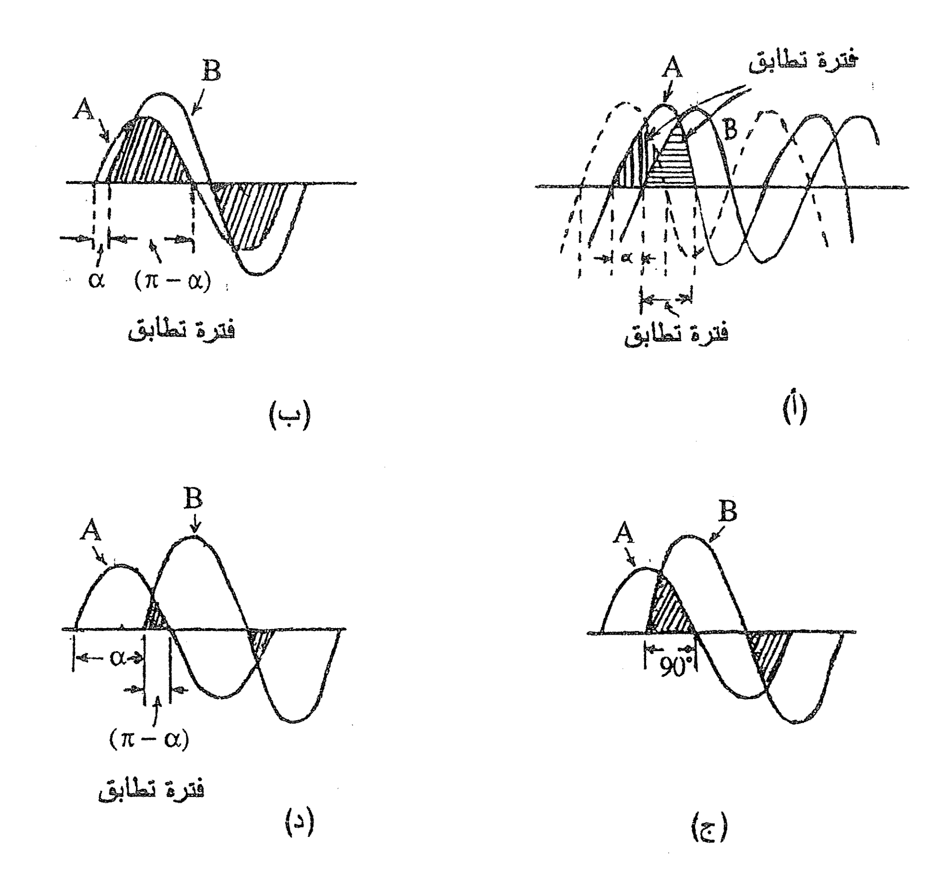
Direct or Block-Spike Phase Comparators

فى هذا المقارن يتم تحويل أحد موجتى المدخل إلى موجة مربعة وتحويل الموجة الأخرى إلى نتوءات *(Spikes)* (عبارة عن نبضات ذات فترة زمنية صغيرة جداً *Pulse of Short Duration*) ثم تقارن الموجة المربعة والنتوء بدالة *AND* وحسب شرط التشغيل يمكن الحصول على مخرج من هذا المقارن .

يبين شكل *(1-15)*أ المدخل *B* قد تم تحويله إلى موجة مربعة من خلال دائرة كاشف تقاطع صفرى *(Zero Crossing Detector)* وتحويل المدخل *A* إلى نبضات عند قيمة الذروة من خلال دائرة نبضات *(pulsing Circuit)* ثم مرورها بالدالة *AND* ثم إلى عنصر المخرج . كما يوضح شكل *(1-15)*ب شكل الموجات قبل وبعد التحويل .



شكل (13-1) مقارن الزاوية



شكل (14-1) فترات تطابق الموجتين A , B

ولما لم يحدث تطابق بين الموجات المربعة والنبضات فلا نحصل على مخرج من دالة *AND* .

ويبين شكل *(1-16)*أ نفس الدائرة المذكورة فى شكل *(1-15)*أ ولكن بتأخير زمنى لنبضة المدخل *B* بينما تظل موجة المدخل *A* موجة مربعة . وبالتالى نحصل على مخرج من الدالة *AND* لوجود تطابق بين الموجتين (كما هو موضح فى شكل *(1-16)*ب) .

وإعتماداً على لحظة حدوث النبضة للموجة *B* نحصل على مخرج من الدالة *AND* لحدود زاوية الاختلاف كما يلى :

* إذا كانت α (الزاوية بين موجتى المدخل) محصورة بين $\pm 90^\circ$ وتحدث النبضة عند قيمة الذورة للموجة .
* إذا كانت α محصورة بين $(180^\circ , 0)$ وتحدث النبضة عند تقاطع الموجة مع المحور (القيمة صفر للموجة) .
* إذا كانت α لها قيمة بين $(180-\theta) , \theta$ وتحدث النبضة عند أى لحظة .

ب) مقارنات الزاوية من نوع شطر زوايا الوجه

Phase Splitting Type Phase Comparators

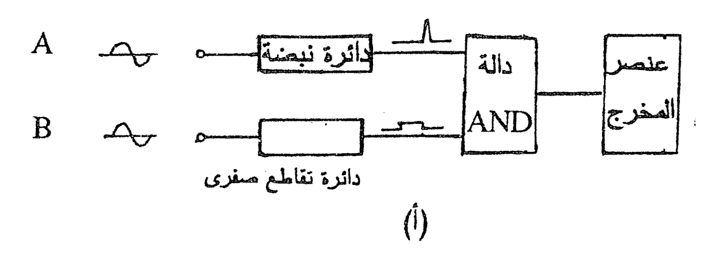
يوجد أكثر من طراز سنذكر منها الآتى :

* تغذى دالة *AND* بأربعة مداخل عبارة عن الموجات : $A , A\angle 45^\circ , B , B\angle 45^\circ$ (حيث أزيحت الموجتين A , B بزاوية 45°) .

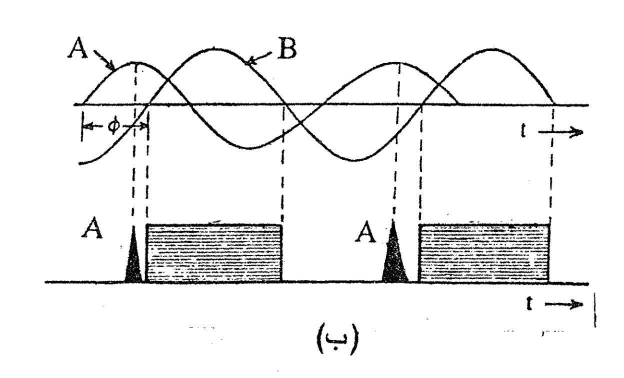
وللحصول على مخرج من دالة *AND* يجب أن تكون هذه الموجات الأربعة ذات قطبية موجبة أو سالبة فى نفس اللحظة ، بمعنى آخر نحصل على مخرج من الدالة *AND* إذا كانت الزاوية θ بين الموجتين A , B تحقق الشرط $90^\circ > \theta < -90^\circ$

ويوضح شكل *(1-17)*أ مكونات تمثيلية لهذا النوع ، كما يوضح شكل *(1-17)*ب شكل الموجات $A , A\angle 45^\circ , B , B\angle 45^\circ$

* تغذى الدالة *AND* بأربعة مداخل عبارة عن الموجات , $A\angle 45^\circ$, $A\angle -45^\circ$

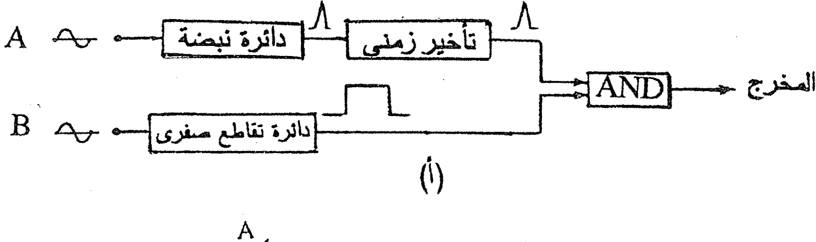


(أ)

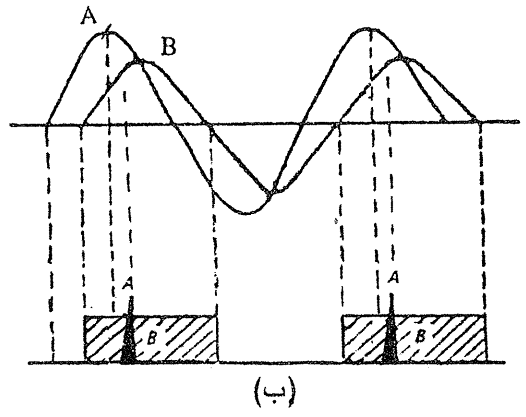


(ب)

شكل (15-1) مقارن الزاوية من النوع المباشر

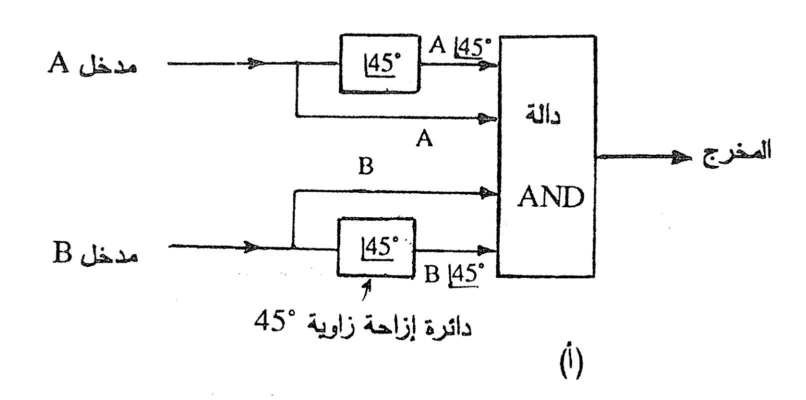


(أ)

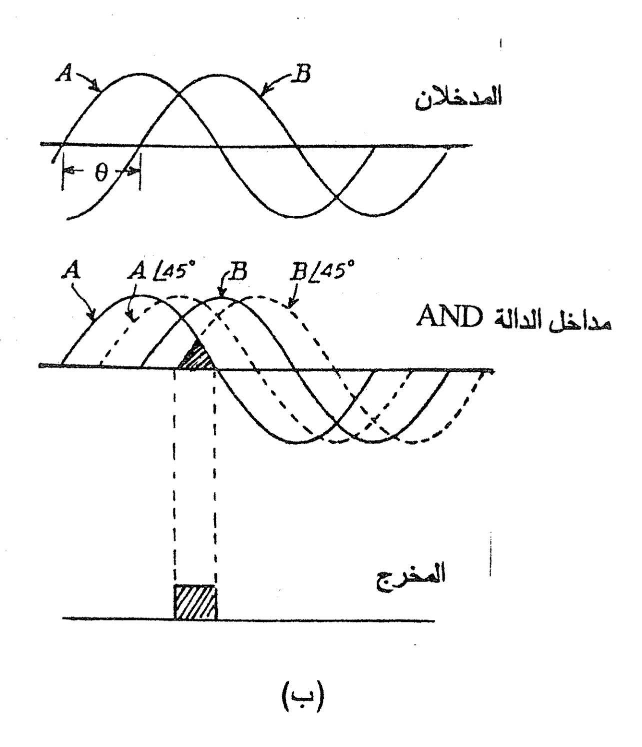


(ب)

شكل (16-1) مقارن الزاوية من النوع المباشر



(أ)



(ب)

شكل (17-1) مقارن الزاوية من نوع شطر زوايا الوجه

$B\underline{/45}^\circ , B\underline{/-45}^\circ$ فى هذه الحالة تم إزاحة الموجتين A , B بزاوية $\pm 45^\circ$

للحصول على مخرج من الدالة *AND* يجب أن تكون الموجات الأربعة لحظياً موجبة القطبية (عند أى لحظة زمنية) .

يوضح شكل *(18-1)*أ مكونات هذا النوع . ويبين الشكل *(18-1)* ب شكل الموجات $A\underline{/45}^\circ , A\underline{/-45}^\circ , B\underline{/45}^\circ , B\underline{/-45}^\circ$

2) **مقارنات حاصل ضرب المتجهان** *Vector Product Comparators*

يعتبر مولد ظاهرة «هول» *(Hall Effect)* مثال لمقارن حاصل ضرب المتجهان والذى يخضع للعلاقة :

$$e_o = A\,B\ \sin\theta$$

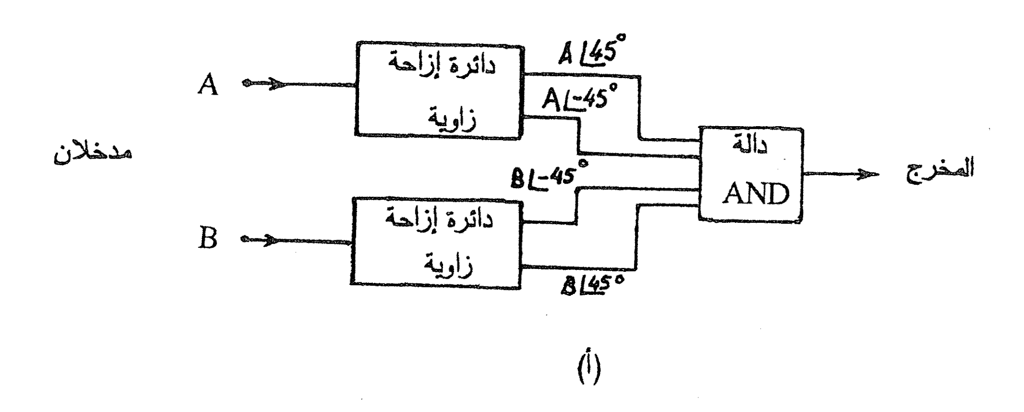
حيث : e_o = مخرج المقارن

A = جذر متوسط المربعات *(rms)* لقيمة المدخل الأول

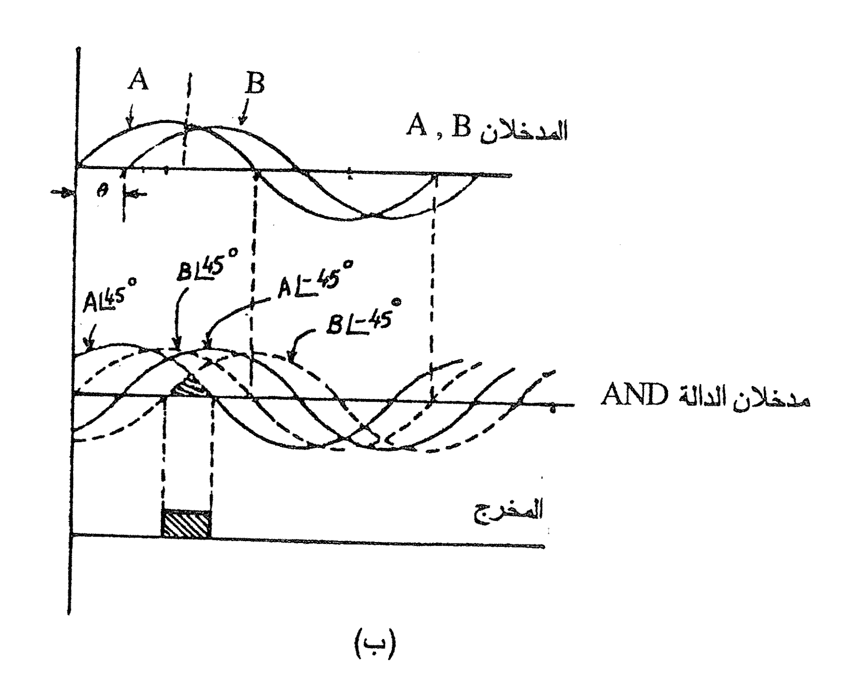
B = جذر متوسط المربعات *(rms)* لقيمة المدخل الثانى

θ = الزاوية بين المدخلين

ويكون مقارن الزاوية عبارة عن نبيطة تمثيلية *(Analogue)* وليست دوائر منطقية *(Logic Circuit)* .



(أ)



(ب)

شكل (18-1) مقارن الزاوية من نوع شطر زوايا الوجه

3) المقارن التكاملى *Integrating Type Comparator*

يستخدم المقارن التكاملى مخرج مقارن القيمة أو الزاوية لتغذية دائرة مكامل *(Integrator)* ومقارنته بقيمة بداية *(Threshold)* لكاشف مستوى *(Level Detector)* . إذا وصل منحنى المكامل الى قيمة البداية فإننا نحصل على مخرج من المقارن .

أ) مقارن القيمة التكاملى *Integrating Amplitude Comparator* .

يتكون مقارن القيمة التكاملى من : مقارن قيمة يغذى بمدخلين *A, B* ومخرجه هو *{|B| - |A|}* - كاشف قطبية يتم من خلاله تحويل الموجة *{|B| - |A|}* إلى موجات مربعة - مكامل يكامل الموجات المربعة والتى تقارن بقيمة البداية *(Threshold)* لكاشف المستوى - ثم إلى عنصر المخرج .

يوضح شكل *(1-19)*أ هذه المكونات .

ويبين الشكل *(1-19)*ب شكل الموجات لكل مكون ، ويلاحظ فى هذا الشكل أن الموجه *A* أكبر من الموجة *B* ولذلك حصلنا على إشارة مخرج نتيجة أن قيمة التكامل تعدت مستوى قيمة البداية لكاشف المستوى .

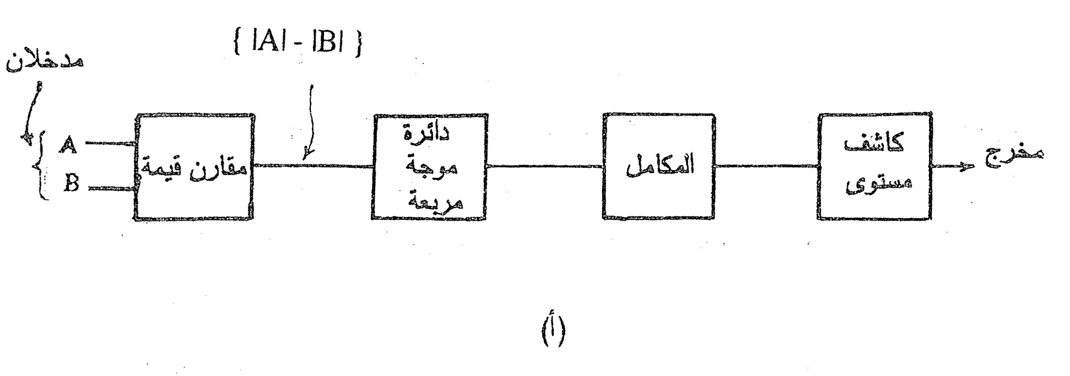
بينما يوضح شكل *(1-19)*ج شكل الموجات فى حالة تساوى المدخلين *A , B* وقيمة التكامل أقل من مستوى قيمة البداية لكاشف المستوى وبالتالى لا نحصل على إشارة مدخل . وتعتبر هذه الحالة هى حالة التشغيل العادية ولا يوجد أعطال تؤدى إلى إشتغال المقارن .

ب) مقارن الزاوية التكاملى *Integrating Phase Comparator*

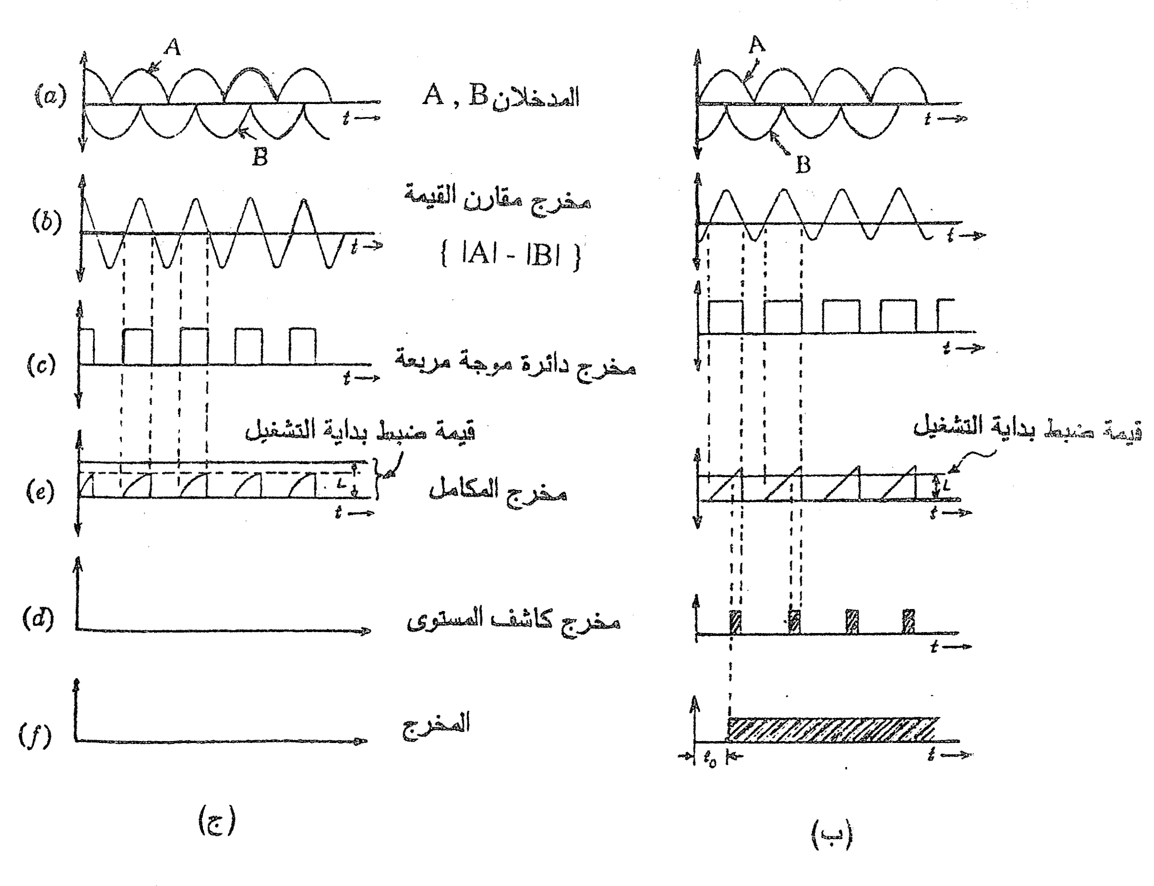
يعتمد هذا المقارن على قيمة زمن التراكب *(Time Overlap)* بين موجتى المدخل، أى على قيمة الزاوية بين المدخلين .

ويتكون المقارن كما فى شكل *(1-20)*أ من دائرة تطابق ، ودوائر موجات مربعة ، ودائرة مكامل ، ودائرة كاشف مستوى ويتغذى المقارن بمدخلين *A , B* .

استخدم فى بداية تصنيع مقارنات الزاوية التكاملية دالة *AND* ثم استبدلت،بعد



(أ)



(ج) (ب)

شكل (1-19) مقارن القيمة التكاملى

ذلك ، بتكامل موجة دورة التطابق ثم مقارنتها بقيمة ضبط تشغيل كاشف المستوى .

ويقارن المدخلين A , B فى دائرة التطابق ، ثم تحول موجات دورة التطابق إلى موجات مربعة (عند نقط التقاطع الصفرى) ، وتكامل الموجات المربعة فنحصل على مخرج يزيد خطياً *(Linearly)* مع الزمن عندما تكون الموجات المربعة موجبة ، وينخفض بنفس المعدل ، عند عكس القطبية . ونحصل على مخرج من كاشف المستوى إذا تعدى مخرج المكامل قيمة الضبط الأولية *(Preset Value)* لكاشف المستوى ، ويستعاد الوضع *(Reset)* عندما تنخفض قيمة مخرج المكامل إلى قيمة أقل من قيمة الضبط .

ويوضح شكل *(1-20)*ب المدخلين A , B بينهما زاوية θ أكبر من $\Pi/2$

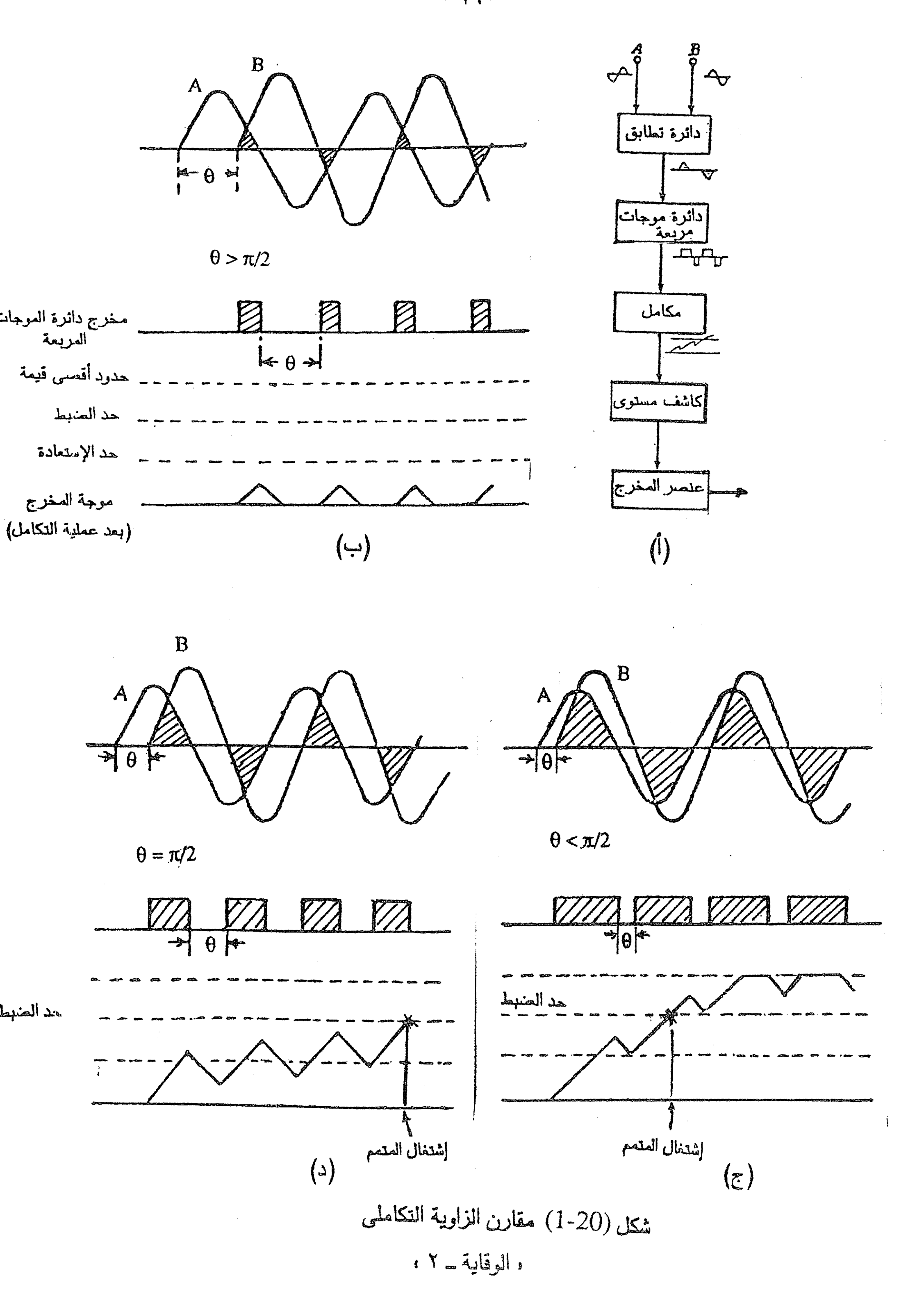
ونتبين من ذلك أن مخرج المكامل أقل من قيمة ضبط كاشف المستوى ولذلك لا نحصل على مخرج ، أى لا يعمل المتمم .

ويوضح شكل *(1-20)*ج نفس المدخلين A , B ولكن بينهما زاوية θ أقل من $\Pi/2$ وفى هذه الحالة نحصل على مخرج من المكامل يزيد خطياً حتى يتعدى قيمة ضبط كاشف المستوى ، وعند نقطة التقاطع نحصل على مخرج من كاشف المستوى ، أى يعمل عنصر المخرج للمتمم .

بينما يبين شكل *(1-20)*د نفس الحالة ولكن الزاوية θ تساوى $\Pi/2$ ونحصل أيضاً على مخرج من المكامل ولكن عند زمن أطول من الحالة *(1-20)*ج .

ويعتمد ميل خط مخرج المكامل على تصميم النبائط المستخدمة ، وبذلك يمكن ضبط قيمة الزاوية الحرجة للتشغيل *(Critical Phase Angle)* طبقاً للضبط المرغوب، ومن ثم تعتمد قيمتى الضبط والإستعادة لكاشف المستوى على حدود التكامل الخطى وميل المخرج .

ويعتبر المقارن الموضح بالشكل *(1-21)*أ من أنواع المقارنات ذى المكامل والذى يمتاز برخص الثمن وبساطة التكوين.يتكون من قنطرة توحيد بوابة *AND (Rectifier bridge AND gate)* ودائرة موجات مربعة ودائرة شحن *R-C* وكاشف مستوى . ويوضح شكل *(1-21)*ب أشكال موجات كل دائرة .



شكل (20-1) مقارن الزاوية التكاملى

فإذا كانت $i_1 > i_2$ فإن :

* يمر التيار فى الموحدين 2 . 1 إذا كانت i_1 موجبة
* يمر التيار فى الموحدين 4 , 3 إذا كانت i_1 سالبة

وإذا كانت $i_1 < i_2$ فإن :

* يمر التيار فى الموحدين 4 , 1 إذا كانت i_2 موجبة
* يمر التيار فى الموحدين 3 , 2 إذا كانت i_2 سالبة

ويتحول التيار خلال المقاومتين R-R إلى جهد ، يكون موجباً إذا كانت i_1 , i_2 لهما نفس القطبية ، ويكون سالباً إذا كانتا لهما قطبية عكسية ، بمعنى آخر فإن جهد المخرج من القنطرة والمقاومات يكون موجباً خلال دورة التطابق الموجبة أو السالبة (كما فى شكل (1-21)ب) ويكون سالباً خلال دورة عدم التطابق .

4) مقارنات الزاوية متعددة المداخل *Multi-input Phase Comparators*

هو مقارن الزاوية الذى يحتوى على أكثر من مدخلين ، فمثلاً فى شكل (1-22) نجد مقارن زاوية يحتوى على عدد n من المداخل ويمكن أن يكافئ هذا عدداً من مقارنات الزاوية لكل منها مدخلين ثم تجمع مخارجهم على دالة AND . ويساوى عدد هذه المقارنات $n (n-1) \div 2$

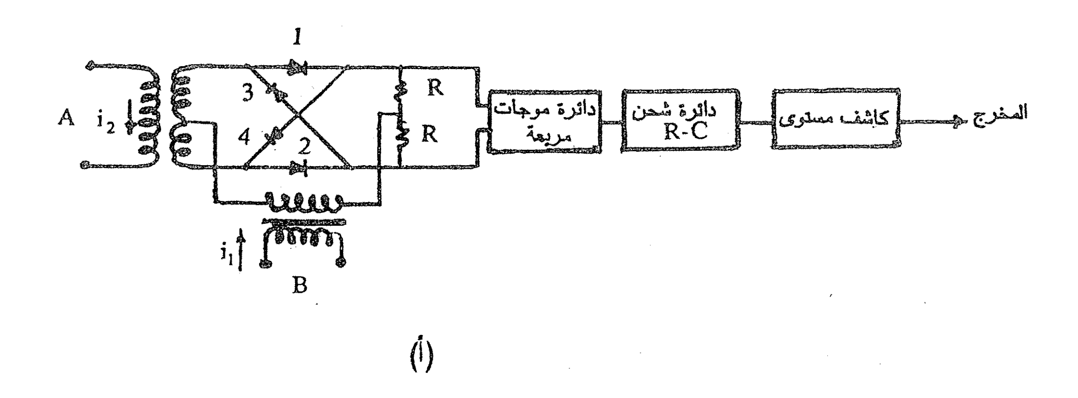
وتوجد أنواع كثيرة من مقارنات الزاوية متعددة المداخل سنذكر بعض منها فيما يلى :

أ) مقارن التطابق متعدد المداخل *Multi-input Coincidence Comparator*

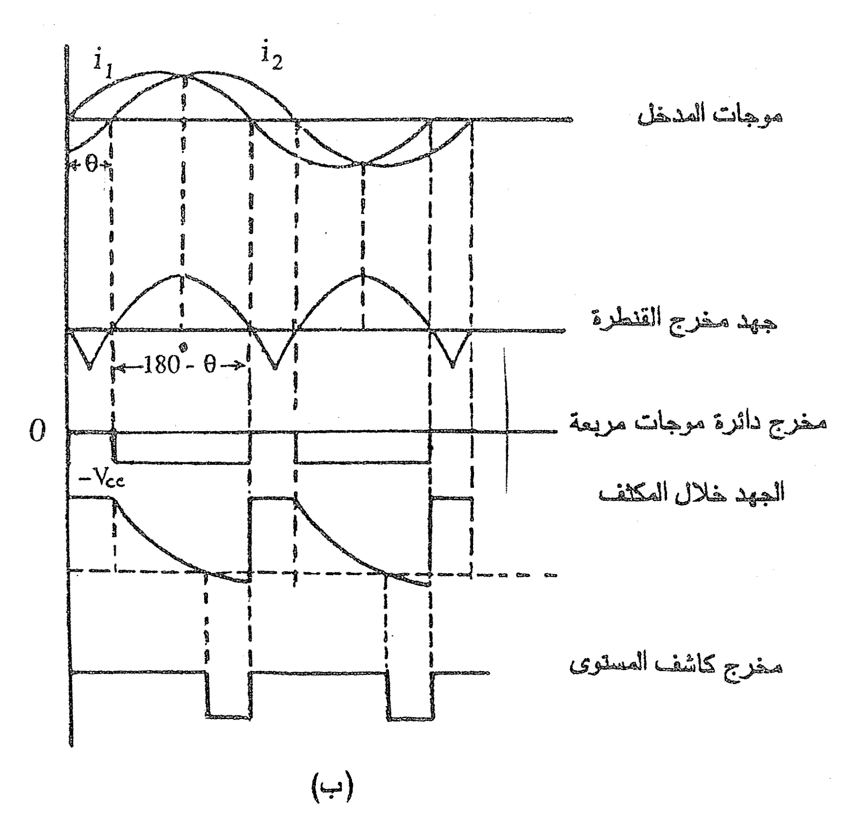
نحصل على إشارة مخرج من مقارن التطابق متعدد المداخل عندما تكون كل متجهات المداخل فى إتفاق مرحلى للحدود من صفر إلى $180°$

بفرض مقارن تطابق ذى ثلاثة مداخل S_1 , S_2 , S_3 فإنه يمثل بثلاثة مقارنات جيبية (Sine Comparator) لكل منها مدخلين كالآتى :

* المقارن رقم 1 ، له مدخلين S_1 , S_2 ونحصل منه على مخرج عندما S_2 تتقدم S_1 بزاوية $\theta \leq 180°$
* المقارن رقم 2 ، له مدخلين S_2 , S_3 ونحصل منه على مخرج عندما S_3 تتقدم S_2 بزاوية $\theta \leq 180°$



(أ)



(ب)

شكل (1-21) المقارن ذى المكامل

* المقـارن رقم 3 ، له مدخلين S_1 , S_3 ونحصل منه على مخرج عندما S_1 تتقدم S_3 بزاوية $\theta \leq 180°$

ويوضح شكل (1-23) أ تمثيل لهذا المقارن ، بينما يوضح شكل (1-23) ب الدائرة المكافئة له والتى تتكون من ثلاثة مقارنات جيبية ودالات منطقية للحصول على العمليات الحسابية اللازمة .

ويلاحظ أنه لعدد n من المداخل نحتاج لمقارنات جيبية بعدد $n (n-1) \div 2$

وفى المثال السابق كانت $n = 3$ ولذلك كانت عدد المقارنات الجيبية تساوى أيضاً 3

ويمثل المقارن متعدد المداخل كما فى شكل (1-23) من عدد $n (n-1) \div 2$ من المقارنات الجيبية .

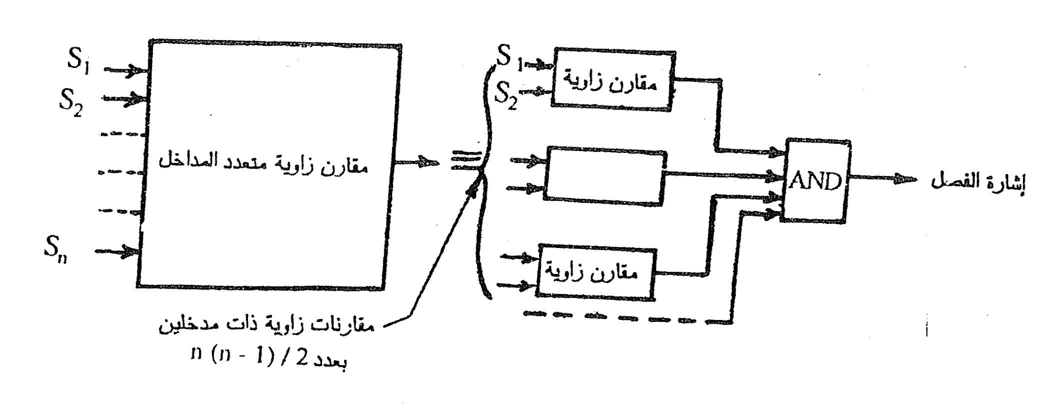
ب) كاشف تتابع الأوجه متعدد المداخل

Multi-input Phase Sequence Detector

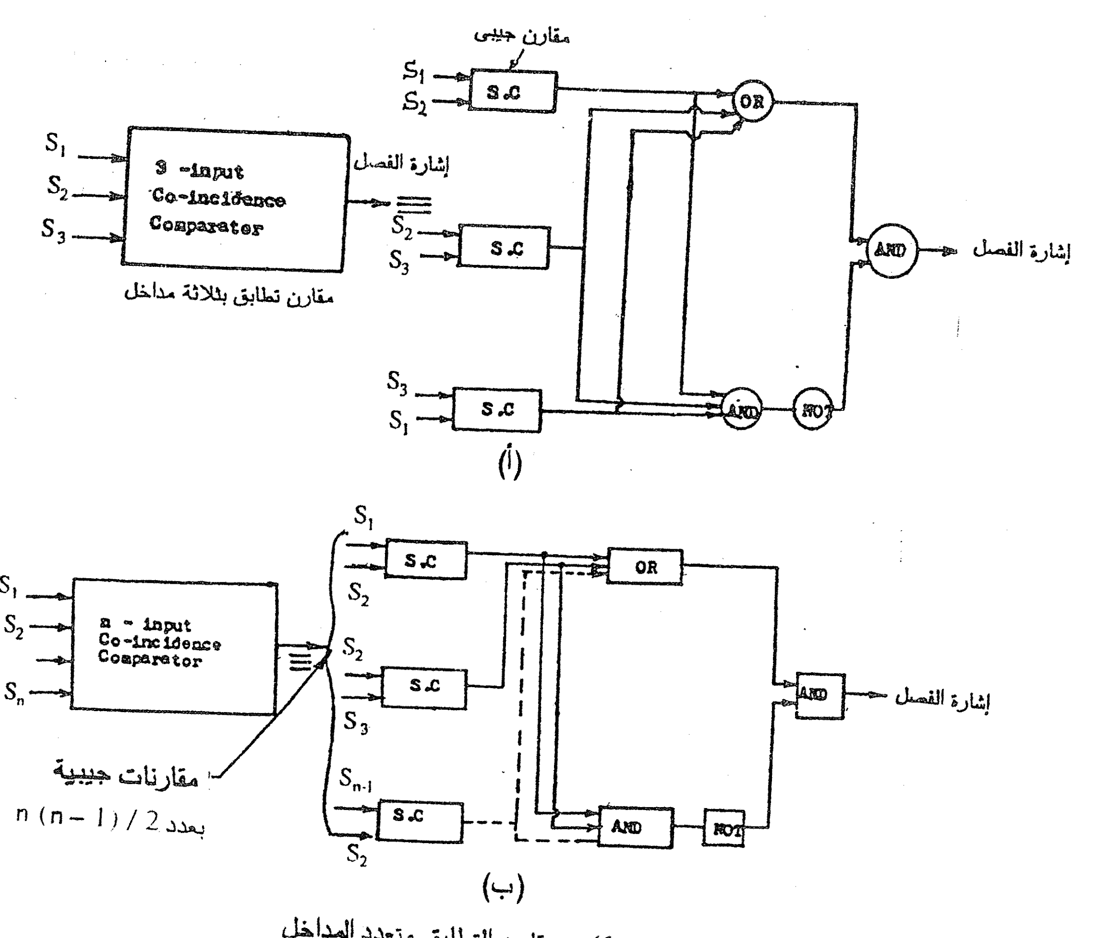
يعمل كـاشف تتـابع الأوجـه عند حـدوث تتـابع غـير عـادى *(Abnormal Sequence)* بينما لا يعمل عند حدوث تتابع عادى *(Normal Phase Sequence)* للأوجه .

ويستخدم كاشف تتابع الأوجه للأنظمة ثلاثية الأوجه أو متعددة الأوجه ، فمثلاً لنظام يحتوى عدد n وجه فإنه يوجد تتابع أوجه بعدد $(n-1)$.

للتبسيط فإن كاشف تتابع الأوجه ذى الثلاثة مداخل S_1 , S_2 , S_3 ، كما فى شكل (1-24) ، يكافئ دائرة مكونة من ثلاث مقارنات جيبية لكل منها مدخلين ، وثلاثة دوال *(AND)* ، ودالة *(OR)* . ويكون كاشف التتابع ذو عدد n من المداخل عبارة عن كاشفات تتابع ذات ثلاثة مداخل تم تجميع مخارجها على دالة *(OR)* كما فى شكل (1-25) . خلال التتابع العادى فإن الكاشفات الثلاثية المداخل لا تعمل ، أى أن الكاشف ذو العدد n مدخل لا يعمل ، بمعنى آخر إذا عمل الكاشف ذو n مدخل فإنه على الأقل يكون قد عمل أحد الكاشفات ذات الثلاثة مداخل والذى نحصل منه على إشارة مخرج (أو إشارة فصل)

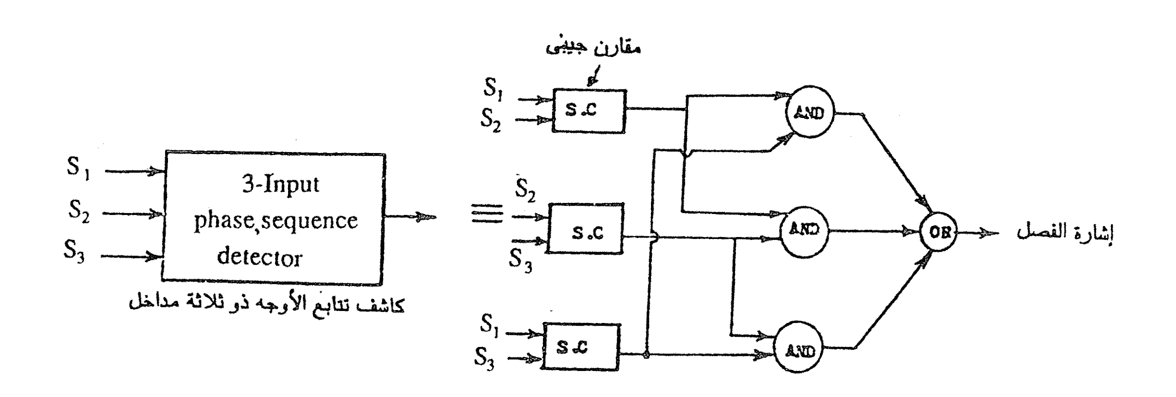


شكل (1-22) مقارن الزاوية متعدد المداخل

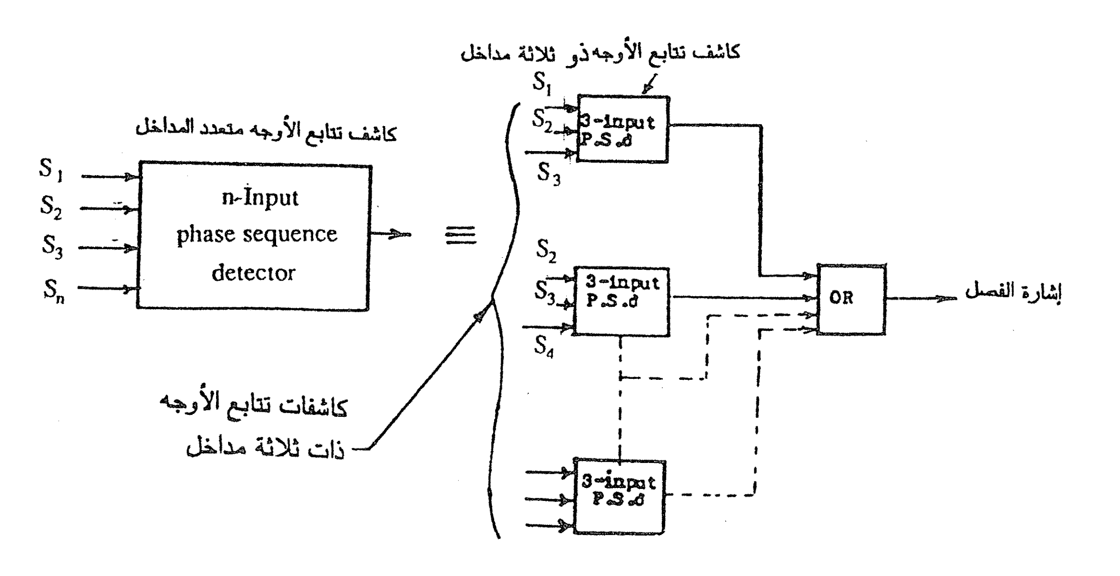


شكل (1-23) مقارن التطابق متعدد المداخل

، الوقاية ـ ٢ ،



شكل (24-1) كاشف تتابع الأوجه



شكل (25-1) كاشف تتابع متعدد المداخل

ج) مقارن الزاوية المعمم Generalised Phase Comparator

لتوضيح فكرة مقارن الزاوية المعمم ، نلاحظ الشكل رقم (1-26) ، حيث S_1 , S_2 مدخلى المقارن ، وحالة بداية التشغيل عندما تكون S_2 متأخرة عن S_1 وبإعتبار S_1 كمرجع فإن الزاوية بين المدخلين S_1 , S_2 تكون :

$$\underline{/S_2/S_1} = \theta(S_2) - \theta(S_1) - \delta(S_1)$$

بينما عندما تكون S_2 متقدمة عن S_1 فإن :

$$\underline{/S_2/S_1} = \theta(S_2) - \theta(S_1) + \delta(S_2)$$

وتكون المعادلة العامة لتشغيل المقارن هى :

$$\theta(S_2) - \theta(S_1) - \delta(S_1)\ \underline{/S_2/S_1} \le \theta(S_2) - \theta(S_1) + \delta(S_2)$$

ويلاحظ أن :

1) عندما تكون S_2 متقدمة عن S_1 فإن حدود المقارن لا تعتمد على $\delta(S_1)$

2) عندما تكون S_2 متأخرة عن S_1 فإن حدود المقارن لا تعتمد على $\delta(S_2)$

3) من الممكن أن تكون الزاوية الكلية للمقارن مساوية لمجموع قيم ضبط دورة المقارن أى تساوى : $[\ \delta(S_1) + \delta(S_2)\ ]$

4) يمكن التحكم فى دورة المقارنة (Comparison period) ودورة التأخير (Delay period) كل على حده .

وعملياً تعرف حدود المقارن تبعاً للخاصية القطبية المطلوبة وبالتالى تشتق قيم ضبط المقارن ، وتكون العلاقة بين قيم الضبط وحدود المقارن (بفرض مقارن زاوية عام ذو مدخلين S_1 , S_2) كما فى المعادلات التالية :

$$(S_{1\ 2^+}) = \theta(S_2) - \theta(S_1) + \delta(S_2) \qquad \longrightarrow \qquad (1)$$
$$(S_{1\ 2^-}) = \theta(S_1) - \theta(S_2) + \delta(S_1)$$

يتضح من المعادلتين السابقتين ، أن مجموع حدود المقارنة يساوى مجموع ضبط دورة المقارنة ، ولذلك تختار $\delta(S_1)$ أو $\delta(S_2)$ المناسبة .

وعلى ذلك فيجب أن يكون ضبط كل دورة مقارنة رقم موجب حتى يمكن

تحقيقها ، وتصبح الحدود عبارة عن نبضة ذات فترة قصيرة جداً .

وإذا كانت دورة المقارنة تؤول إلى الصفر ، فإن الضبط يظل يقترب من قيمته القصوى $(S_{1\,2}^{-}) + (S_{1\,2}^{+})$ وتكون الحدود المسموحة كالآتى :

$$0 \leq \delta(S_1) \leq \{(S_{1\,2}^{+}) + (S_{1\,2}^{-})\}$$
$$0 \leq \delta(S_2) \leq \{(S_{1\,2}^{+}) + (S_{1\,2}^{-})\} \quad \longrightarrow \quad (2)$$

بإختيار متغير ضبط واحد ، والذى يظل محققاً لضبط دورة تأخير واحدة ، بحذف قيمة الضبط $\theta(S_1)$ تصبح المعادلتين رقم (1) كالآتى :

$$(S_{1\,2}^{+}) = \theta(S_2) + \delta(S_2)$$

$$(S_{1\,2}^{-}) = -\theta(S_2) + \delta(S_1)$$

بإستخدام أحد المعادلتين السابقتين يمكن الحصول على قيمة $\theta(S_2)$

يمكن أن تتحقق المقارنات المتماثلة أو غير المتماثلة (Symmetrical or Asymmetrical) دون ما نحتاج إلى ضبط دورة تأخير ، فى كل حالة ، وتكون حدود كل مقارنة رقم موجب لذلك فإن $\delta(S_1)$, $\delta(S_2)$ تساوى (S_{12}^{+}) , (S_{12}^{-}) على التوالى .

يكون إستخدام قيم محددة لضبط دورة التأخير لمقارن الزاوية المعمم مساوية لإزاحة الزاوية لمداخل المتمم .

يوضح شكل (1-27) مكونات مقارن زاوية معمم بمدخلين (2-Input Generalized Phase Comparator) هما S_1 , S_2 ، ويوضح شكل (1-28) موجات كل دائرة ، يمر كل مدخل على الدوائر الآتية :

1) كاشف التقاطع الصفرى Zero crossing detector
والذى نحصل منه على موجه مربعة a

2) دائرة قالب Inverter
ونحصل منه على الموجة b عكس الموجة a

3) دائرة شبه الإستقرار رقم 1 *Quasi-stable circuit*

تغذى بالموجة b وتضبط بحيث تعطى نبضات بعد تأخير زمنى معين ، ويكون ضبط دورة التأخير للمدخل S_1 هى $\theta(S_1) / \omega$ ثانية بينما يكون $\theta(S_2) / \omega$ ثانية للمدخل S_2 . ويكون المخرج عبارة عن الموجة C

4) دائرة شبه الإستقرار رقم 2 *Quasi-stable circuit*

تغذى بالمدخل الموجب C (فقط) من دائرة شبه الإستقرار رقم (١) وبذلك نحصل على نبضات بالفترات الزمنية المطلوبة $\delta(S_1) / \omega$ للموجة S_1 وبالفترة الزمنية $\delta(S_2) / \omega$ للموجة (S_2) ويكون المخرج عبارة عن الموجة d

تجمع مخارج المسارين للمدخلين S_1 , S_2 على دالتى AND كما فى شكل *(1-27)* ، ونحصل منهما على الموجتين e_1 , e_2 والذين يغذيان دالة OR ومنها نحصل على نبضات المخرج كما فى شكل *(1-28)* .

* مقارن الزاوية المعمم متعدد المداخل

Multi-input Generalized Phase Comparator

فى هذا المقارن نحصل على مخرج عندما تكون جميع دورات المقارنة *(Comparison periods)* متراكبة *(Overlap)* خلال دورة واحدة لإشارات المدخل .

بفرض أن مقارن الزاوية المعمم له المداخل S_1 , S_2 , S_3 فإن مقارنة المداخل S_1S_2 , S_2S_3 , S_1S_3 تتبع المعادلات الآتية (بنفس الطريقة المتبعة فى المعادلات رقم ١) والتى تحدد حدود المقارنة :

$$(S_{12}^+) = \theta(S_2) - \theta(S_1) + \delta(S_2)$$

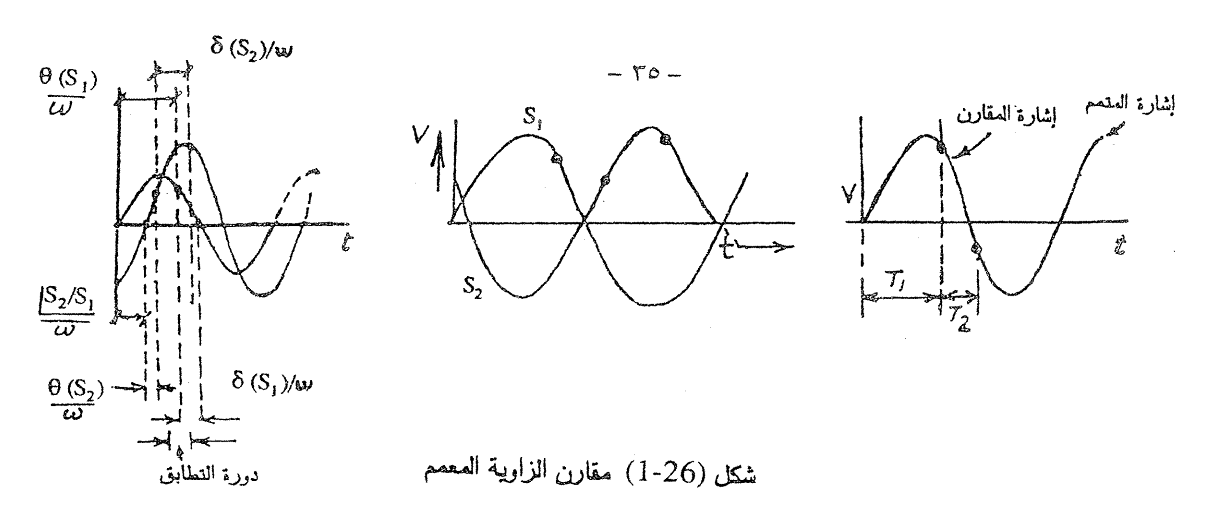
$$(S_{12}^-) = \theta(S_1) - \theta(S_2) + \delta(S_1)$$

$$(S_{13}^+) = \theta(S_3) - \theta(S_1) + \delta(S_3)$$

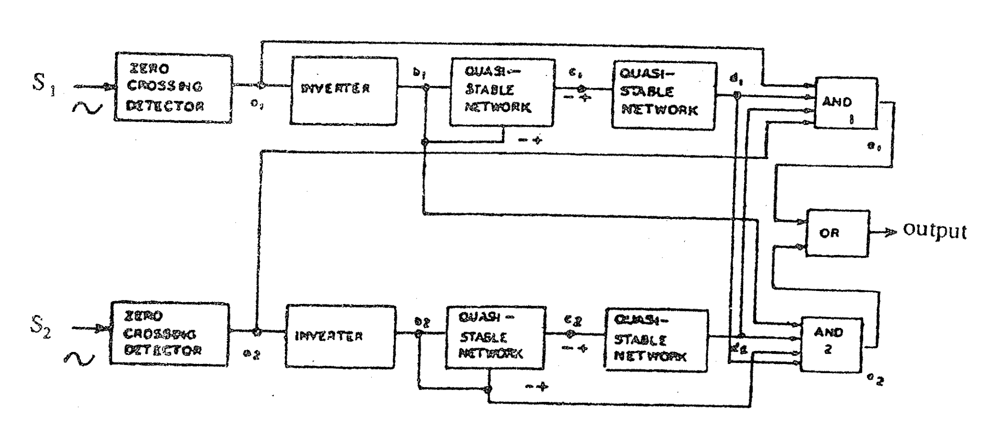
$$(S_{13}^-) = \theta(S_1) - \theta(S_3) + \delta(S_1)$$

$$(S_{23}^+) = \theta(S_3) - \theta(S_2) + \delta(S_3)$$

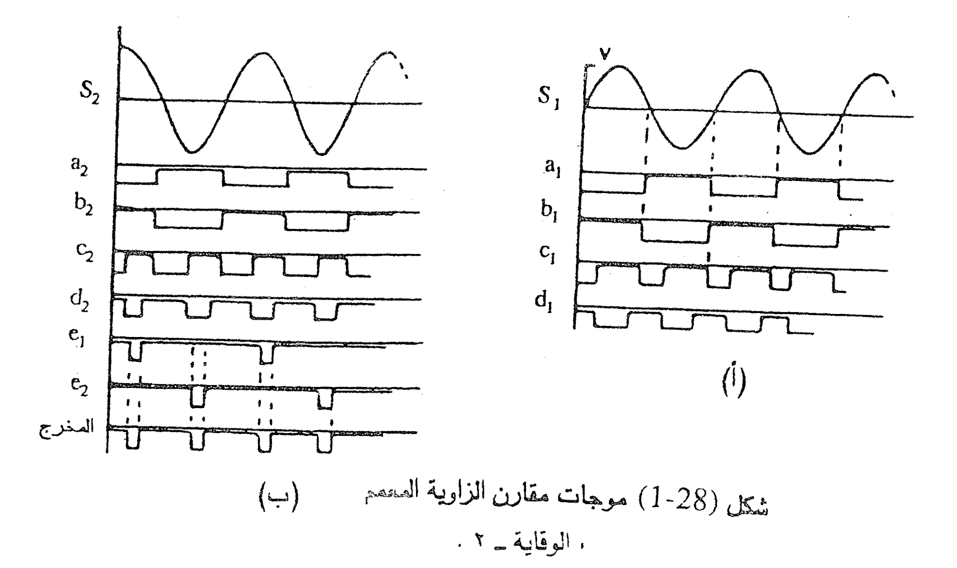
$$(S_{23}^-) = \theta(S_2) - \theta(S_3) + \delta(S_2)$$



شكل (26-1) مقارن الزاوية المعمم



شكل (27-1) مكونات ومقارن الزاوية المعمم



شكل (28-1) موجات مقارن الزاوية المعمم

ويكون شرط الحصول على مخرج من المقارن أن تتحقق المعادلات التالية لحظياً:

$$-(S_{12}^{-}) \leq \underline{/ S_2/S_1} \leq (S_{12}^{+})$$

$$-(S_{13}^{-}) \leq \underline{/ S_3/S_1} \leq (S_{13}^{+})$$

$$-(S_{23}^{-}) \leq \underline{/ S_3/S_2} \leq (S_{23}^{+})$$

حيث :

$\theta(S_1)$ ضبط دورة التأخير للمدخل (S_1) *(Delay period setting)*

$\delta(S_1)$ الفترات الزمنية لنبضات المخرج *(Duration)*

ثالثاً : مقارن الهجين أو مقارن الخلط

Hybrid Comparator or Mixed Version Comparator

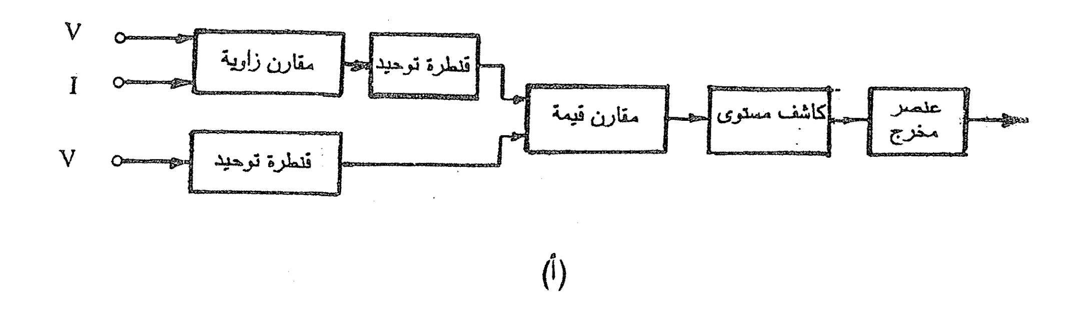
المقصود بمقارن الهجين أن يهجن مقارن القيمة بمقارن زاوية أو يهجن مقارن الزاوية بمقارن قيمة ، بمعنى آخر يتكون مقارن الهجين من مقارنى زاوية وقيمة .

تعتمد متممات الوقاية المسافية الاستاتيكية ذات الخصائص المركبة مثل الشكل المستطيل *(Rectangular)* والشكل البيضاوى *(Elliptical)* على مقارن الهجين حيث يغذى بكل من الفولت V والتيار I وتقارن الزاوية والقيمة وذلك للحصول على الشكل المرغوب ، وسنوضح ذلك عند التعرض للوقاية المسافية .

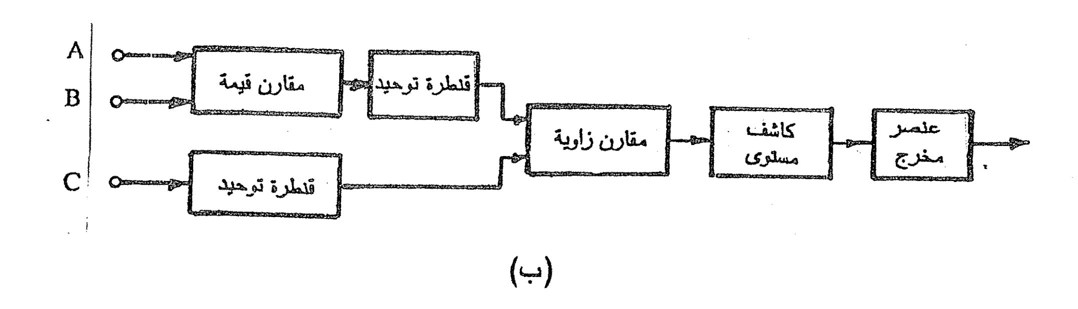
ويوضح شكل *(1-29)*أ مكونات مقارن الهجين ، حيث يتم مقارنة الزاوية بين الفولت V والتيار I ثم يوحد المخرج ، وتقارن قيمة هذا المخرج مع قيمة الجهد V بعد توحيده من خلال مقارن قيمة ثم الى كاشف مستوى .

ويطلق أحياناً على المقارن الهجينى إسم المقارن متعدد المداخل *(Multi-input Comparator)* ، حيث أنه يحتوى على الأقل على ثلاثة مداخل ، تقارن زاوية مدخلين ثم تقارن قيمة المخرج مع قيمة المدخل الثالث ، أو تقارن قيمة مدخلين ثم يقارن زاوية المخرج مع زاوية المدخل الثالث .

كذلك يوضح *(1-29)*ب المقارن الهجينى أيضاً ، حيث تم مقارنة قيمة المدخلين A , B ثم مقارنة الزاوية بين مخرجيهما وبين المدخل C



(أ)



(ب)

شكل (29-1) مقارن الهجين

الباب الثانى

مصادر تغذية متممات الوقاية الاستاتيكية

التيار المستمر (D.C.)

توجد نبائط *(Devices)* مختلفة لتغذية متممات الوقاية الاستاتيكية بإحتياجها من الجهد المستمر *(D.C.)* ، لذلك تعرف هذه النبائط بأنها مصدر الحصول على تغذية مساعدة *(D.C.)* لمتممات الوقاية . وتوجد أنواع مختلفة تعتمد على :

نوع العناصر المكونة لمنظمات الجهد (زنير ديود - ترانزيستور - دوائر متكاملة) ، وقيمة جهد المدخل ، وقيمة جهد المخرج ، والقدرة ، وكذلك التحويل من *D.C* الى *D.C.* ، أو التحويل من *A.C* إلى *D.C* .

ويكون الغرض الرئيسى من إستخدام منظمات الجهد الحصول على تيار مستمر *(D.C.)* ثابت القيمة .

ويمكن أن تكون النبائط عبارة عن بطارية نيكل كادميوم داخل المتمم أو قنطرة توحيد تغذى من الدوائر الثانوية لمحولات التيار أو الجهد أو الإثنين معاً ، أو يكون جزء من بطاريات المحطة (التحويل من *D.C* إلى *D.C.*) ، وفى أى من هذه الحالات يجب أن يكون الجهد المستمر *(D.C.)* مستقراً لضمان وتأمين ودقة عمل نبائط المواد شبه الموصلة .

تعتمد قيمة الجهد المستمر لمتممات الوقاية على نوع النبائط لشبه الموصلات ونوع الدوائر المستخدمة . ويوضح جدول *(2-1)* حدود الجهد المستمر اللازم لبعض النبائط .

جدول *(2-1)* حدود الجهد المستمر

النوع	حدود الجهد المستمر (فولت)
ترانزيستور جرامانيوم	*10 : 30*
ترانزيستور سيليكون	*6 : 50*
دوائر *I.C* خطية	*30*
دوائر *TTL*	*6*

تعرضنا فى كتاب الوقاية - الجزء الأول - إلى شرح دوائر التوحيد (موحد نصف موجة *Half wave rectifier* ، وموحد موجة كاملة *Full wave rectifier*) بالإضافة إلى طرق تنعيم موجات المخرج . وفى هذا الباب سنتعرض لأنواع منظمات الجهد الأخرى .

تنظيم الجهد *Voltage Regulation*

يوضح شكل *(2-1)* منظم جهد عبارة عن زينر ديود متصل على التوازى مع مقاومة الحمل R_L وقيمة مقاومة المدخل R_i تساوى :

$$R_i = R + (R_2 \parallel R_L)$$

$$= R + \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L}$$

حيث : R_2 = مقاومة الزينر ديود

R_L = مقاومة الحمل (مقاومة المتممات التى سوف تتغذى بالجهد المستمر)

فإذا كانت المقاومة R_L كبيرة جداً بالنسبة للمقاومة R_2 فإن :

$$R_i \cong R + R_2$$

وعندما تكون المقاومة R كبيرة جداً أيضاً بالنسبة للمقاومة R_2 فإن :

$$R_i \cong R$$

أى تكون مقاومة المدخل للمنظم ثابتة ، ويكون جهد المدخل :

$$V_S = I_o R_i = I_o R + V_L$$

وحيث أن V_L ثابت القيمة ، فإن أى تغيير فى الجهد V_S يؤدى إلى تغيير التيار I_o

$$\therefore R = \frac{V_S - V_L}{I_o}$$

وبذلك يحافظ الديود على أن يكون جهد المخرج (جهد الحمل V_L) ثابتاً وبالتالى يكون تيار الحمل ثابتاً أيضاً .

وتعطى أقل قيمة لتيار الزنير ديود $I_{Z(min)}$ من العلاقة :

$$I_{Z(min)} + I_L = \frac{(V_{S(min)} - V_Z)}{R_{(max)}}$$

بينما تعطى أقصى قيمة لتيار الزنير ديود $I_{Z(max)}$ من العلاقة :

$$I_{Z(max)} + I_L = \frac{(V_{S(max)} - V_Z)}{R_{(min)}}$$

ويجب أن تكون المقاومة R فى الحدود :

$$R_{(min)} \leq R \leq R_{(max)}$$

وتكون قيمة القدرة المتبددة فى الزنير ديود تساوى :

$$Diode\ dissipation\ capacity = P_{(max)} = I^2_{Z(max)} R_Z$$

أنواع منظمات الجهد :

1) منظمات الجهد بإستخدام الترانزستور

تعتبر دائرة منظم جهد باعث مشترك *(Emitter-Follower voltage regulator)* من الدوائر شائعة الإستخدام والموضحة فى شكل (2-2)أ ويكون جهد المخرج V_O ، خلال مقاومة الباعث تساوى جهد المرجع V_R *(Reference voltage)* حيث أن :

$$V_O = V_R + V_{BE}$$

(ويهمل الجهد V_{BE} لصغره) .

عند إستخدام زنير ديود ، كما فى شكل (2-2)ب ، وإعتبار جهده كمرجع ، يكون جهد المخرج ثابت تقريباً بقيمة جهد الزنير ديود وذلك بفرض إهمال إنخفاض الجهد بين الباعث والقاعدة عندما يكون الترانزستور فى حالة توصيل .

وإذا كان المطلوب تيار مخرج كبير ، فيستخدم أكثر من دائرة ترازستور باعث

تابع يتم توصيلهم على التوالى وتعرف الدائرة فى هذه الحالة بأنها مركبة ، ويوضح الشكل *(2-2)*ج دائرتى ترانزستور باعث تابع مركب ويتم التحكم فى تيار الحمل عن طريق التحكم فى تيار المرجع الصغير I_{b2} (تيار القاعدة للترانزستور T_2) .

ويوضح شكل *(2-3)* دائرة كاملة لمنظم جهد ، حيث تتكون من دائرة باعث ـ تابع مركب من الترانزستورين T_3 , T_4 ، وتتغذى من قنطرة توحيد A تحتوى على مكثف إحتياطى *(Reservior Capacitor)* كبير C_1 ، ويكون إشتغال الترانزستورين T_3 , T_4 من خلال الترانزستورين T_1 , T_2 . وتؤخذ إشارة القاعدة للترانزستور T_2 من جهد المخرج ، بينما تؤخذ الإشارة لقاعدة T_1 من مقسم الجهد P من خلال جهد المرجع للزنير ديود Z_D . وتحتوى الدائرة على مصدرين إحتياطيين من خلال الدائرتين B , C وذلك لضمان الحصول على كسب تكبير *(Amplifier Gain)* كافى لجميع حدود مخرج الجهد . ويتم تحسين وإستقرار جهد المخرج عن طريق دائرة إزاحة الزاوية *(Phase shifting network)* المكونة من R_7 , C_7 ، وهذا يعنى ألا يقل تكبير الدائرة عن الوحدة قبل الوصول بزاوية الإزاحة بالقيمة $180°$

ويحتاج المتمم ، فى حالات معينة ، أن يكون التيار ثابتاً فى حدود مقاومة الحمل ، أى نحتاج لمنظم تيار *(Constant current stabilizer or Current regulator)* ، ويوضح شكل *(2-4)* فكرة هذا المنظم . فإذا كانت مقاومة الحمل تساوى صفراً فإن الترانزستور يقاوم جهد المصدر الكلى V_S ، ويكون تيار المنظم I_L عبارة عن :

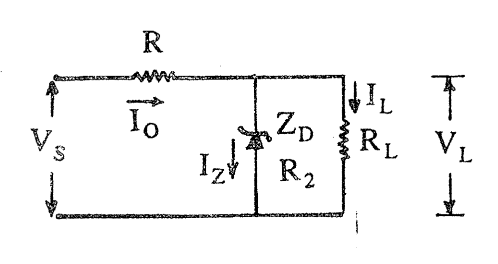
$$P_{(max)} = V_S I_L$$

ولكن عندما تكون مقاومة الحمل كبيرة ، فإن قدرة التبدد تصبح مساوية للصفر .

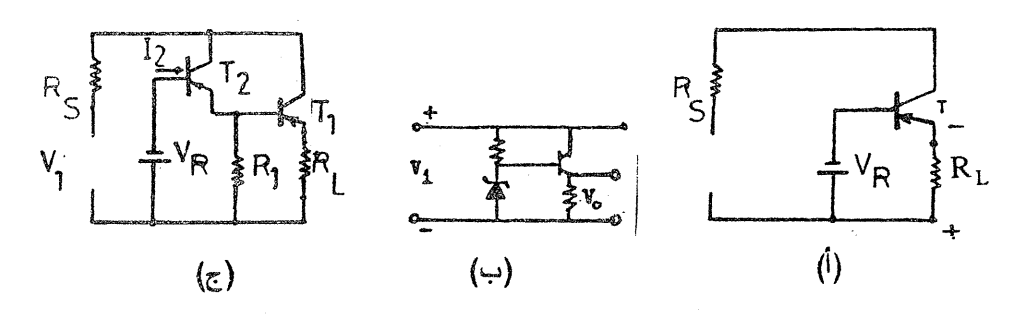
إن أكبر حمل يمكن الحصول عليه من المنظم (بفرض أن الجهد بين المجمع والقاعدة صغير جداً) عبارة عن :

$$R_L = (V_S - V_Z) / I_L$$

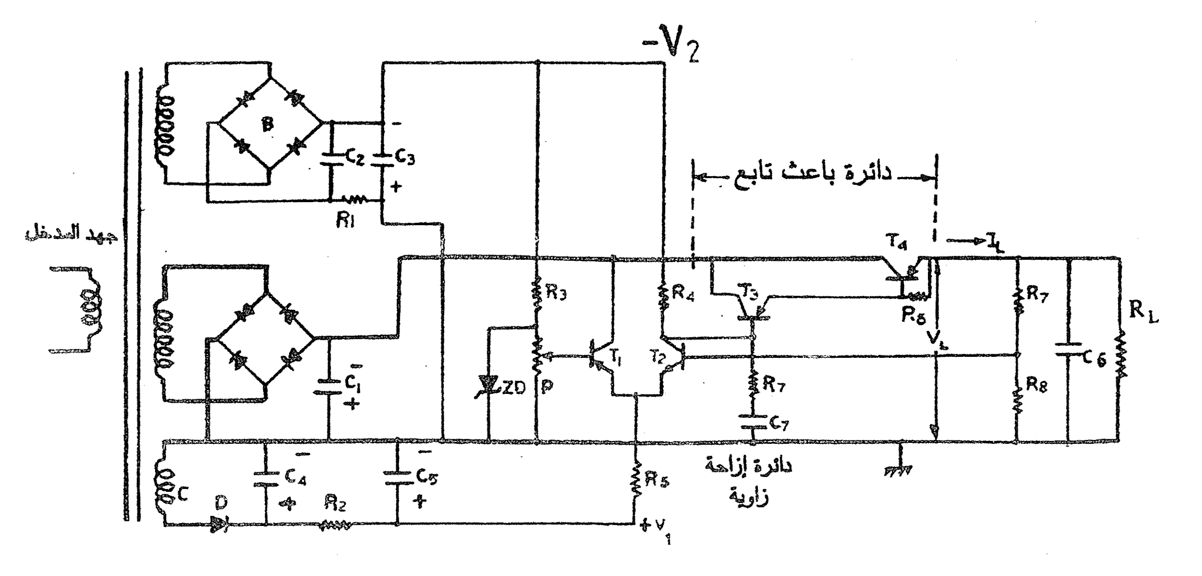
حيث V_Z هو الهبوط فى الجهد خلال الديود D (بفرض أنه ثابت لجميع قيم التيار الأمامى) .



شكل (1-2) منظم جهد



شكل (2-2) منظمات الجهد بإستخدام الترانزستور



شكل (3-2) دائرة منظم الجهد

ويمكن الحصول على تنظيم أفضل بإستبدال الديود بزنير ديود يوصل عكسياً .

ويتضح من شكل (2-5) دائرة باعث تابع توالى *(Series emitter follower circuit)* لتنظيم الجهد ، وتساعد المقاومة R على تحسين عامل الإستقرار ($\frac{\Delta V_O}{\Delta V_I}$) ولكن يؤدى ذلك إلى زيادة الجهد V_{CE} وبالتالى زيادة قدرة التبدد فى الترانزستور ، ومن عيوب هذه الدائرة أن جهد المخرج له قيمة واحدة هى قيمة جهد الزنير ديود Z_D ، أى لا حدود له ، وكذلك تتأثر قيم V_R , V_{BE} بتغير درجة الحرارة وبالتالى يتغير جهد المخرج .

وقد تم علاج هذه العيوب فى الدائرة الموضحة بشكل (2-6) وذلك بمقارنة جزء من جهد المخرج ($V_2 = bV_O$) بجهد المرجع V_R ، وبالتالى يقوم الترانزستور T_2 بتكبير فرق الجهد (V_2 - V_R) ويظهر التغيير فى جهد المصدر V_i خلال المقاومة R_3 وبالتالى على الترانزستور T_1 (إذا كان الجهد بين الباعث والقاعدة صغيراً) وهكذا نصل إلى ثبات قيمة جهد المخرج V_O . ولتحسين إستقرار الدائرة ، يتم تبديل مصدر تيار ثابت بدلاً من المقاومة R_3 أو عن طريق وضع المقاومة R_3 بقيمة كبيرة جداً) .

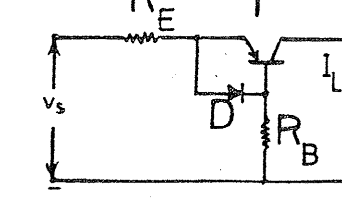
ويوضح شكل (2-7) دائرة باعث تابع توالى كاملة بياناتها كالآتى :

* جهد المخرج : 30 فولت
* تيارالمخرج : من صفر وحتى 400 مللى أمبير
* جهد المدخل : من 37.5 إلى 70 فولت

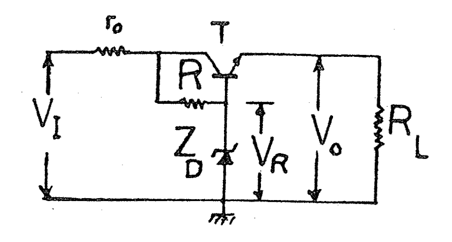
2) منظمات الجهد بإستخدام المكبرات التشغيلية

تستخدم المكبرات التشغيلية كمنظم جهد مستمر لحدود معينة للجهد إعتماداً على عدد المكبرات المستخدمة وقيمة حدود الجهد المطلوب بالإضافة إلى قدرة (عبء) *(Burden)* المتممات التى سوف يتم تغذيتها من هذا المصدر .

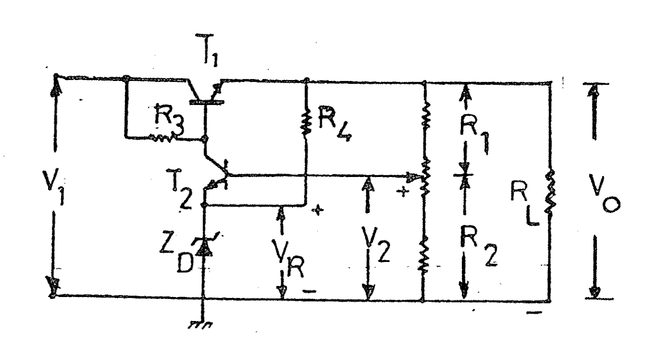
ويوضح شكل (2-8) دائرة مبسطة للحصول على جهد مستمر للحدود من صفر إلى 12 فولت ومن صفر إلى 50 ميكرو أمبير . وتكون قيمة جهد المرجع للزنير ديود ZD_1 من خلال المقاومة R_1 ، مساوية 12 فولت ، ويغذى هذا الجهد مقاومة التقسيم R_2



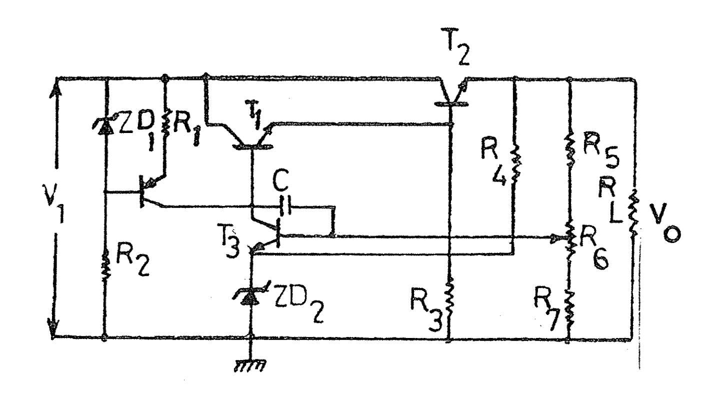
شكل (2-4) منظم تيار



شكل (2-5) دائرة باعث تابع توالى



شكل (2-6) دائرة باعث تابع توالى معدلة



شكل (2-7) دائرة باعث تابع توالى كاملة

وعلى ذلك فإن جهد المخرج من المقاومة R_2 يكون من صفر إلى 12 ڤولت ويكون تكبير الجهد للمكبر التشغيلى مساوياً الوحدة ، لذلك نحصل على جهد المخرج فى الحدود من صفر إلى 12 ڤولت بين باعث الترانزستور T_1 وخط التعادل .

بإستخدام عدد 2 مكبر تشغيلى ، كما فى شكل (2-9) نحصل على ثلاثة مخارج كالآتى :

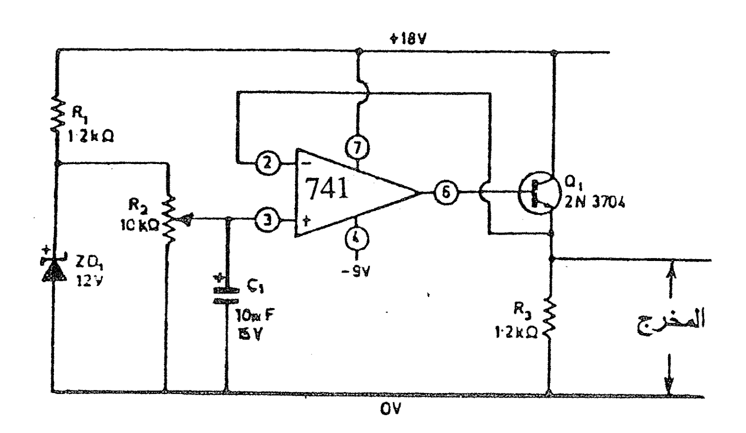
* جهد من صفر إلى 15+ ڤولت بين الطرفين (o) , (+ve)
* جهد من صفر إلى 15- ڤولت بين الطرفين (o) , (-ve)
* جهد من صفر إلى 30+ ڤولت بين الطرفين (+ve) , (-ve)

ويكون أقصى تيار يمر بين أى طرفى مخرج 50 مللى أمبير .

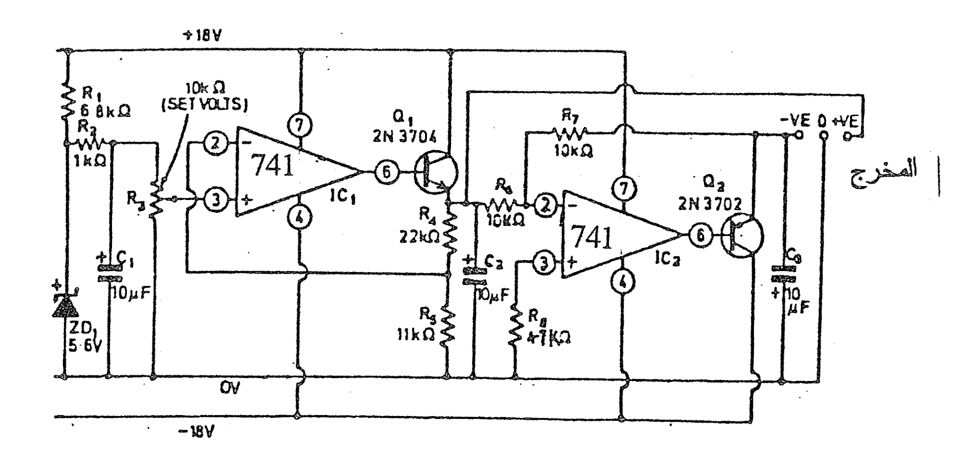
ويستخدم الزنيرديود للحصول على جهد مرجع 5.6 ڤولت من خلال المقاومة R_1 ، يغذى هذا الجهد مقاومة التقسيم R_3 من خلال المقاومة R_2 والمكثف C_1 بحيث يكون جهد مخرج المقاومة R_3 من صفر إلى 5+ ڤولت ، ويكون المكبر IC_1 والترانزستور T_1 لهما مخرج يساوى ثلاثة أمثال المدخل ، أى نحصل على جهد بين الطرفين +ve , o يساوى القيمة بين صفر و 15+ ڤولت . بنفس الطريقة نحصل على جهد بين الطرفين -ve , o يساوى القيمة بين صفر و 15- ڤولت من خلال المكبر IC_2 والترانزستور T_2 .

3) منظمات الجهد بإستخدام الدوائر المتكاملة

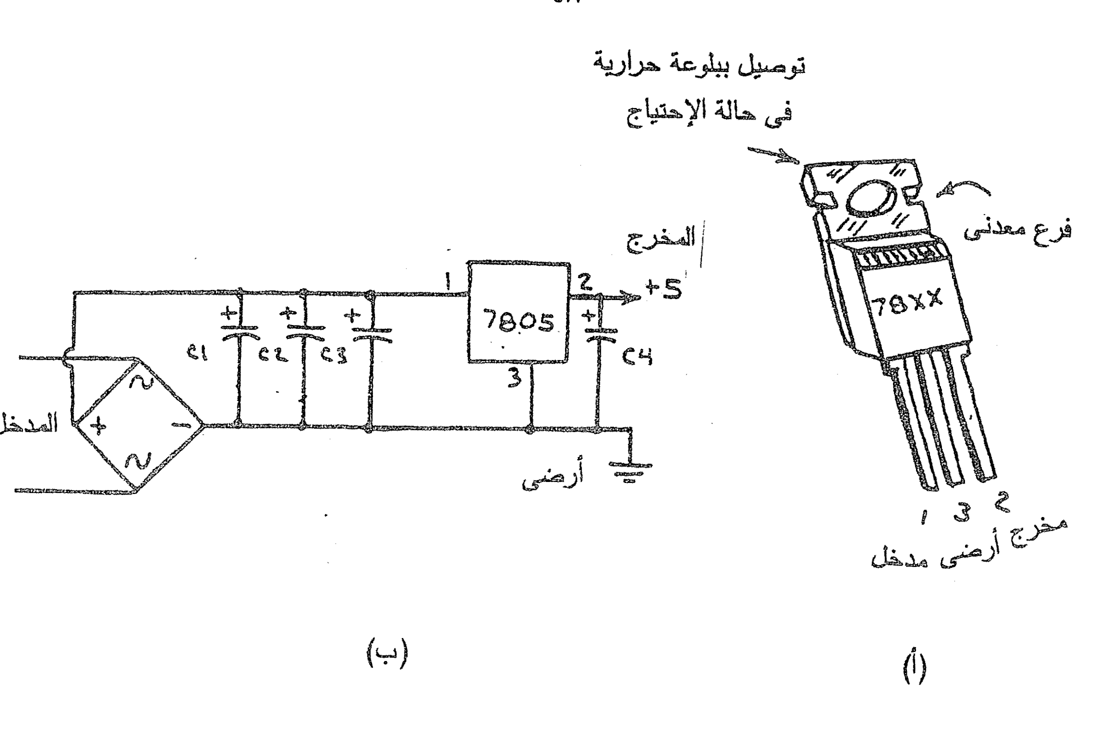
تستخدم الدوائر المتكاملة (Integrated Circuit) إستخداماً شائعاً كمنظمات للجهد ، ويطلق عليها منظمات مبرمجة (Programmable regulators) . ومن أبسط هذه الأنواع ، منظم الجهد طراز (78XX) الموضح فى شكل (2-10)أ ، حيث يحتوى المنظم على ثلاثة أطراف ، الطرف رقم 3 مشترك ، بينما الطرف رقم 1 للمدخل والطرف رقم 2 للمخرج . كما يوضح شكل (2-10)ب طريقة توصيل المنظم ، ويمكن الحصول على جهد مخرج يساوى 5 أو 12 أو 15 ڤولت حسب نوع المنظم . ويوضح شكل (2-11)أ منظم طراز LM317 نحصل منه على جهد مخرج فى حدود من 1.2 إلى 37 ڤولت ، بينما شكل (2-11)ب يوضح طريقة تمثيل المنظم .



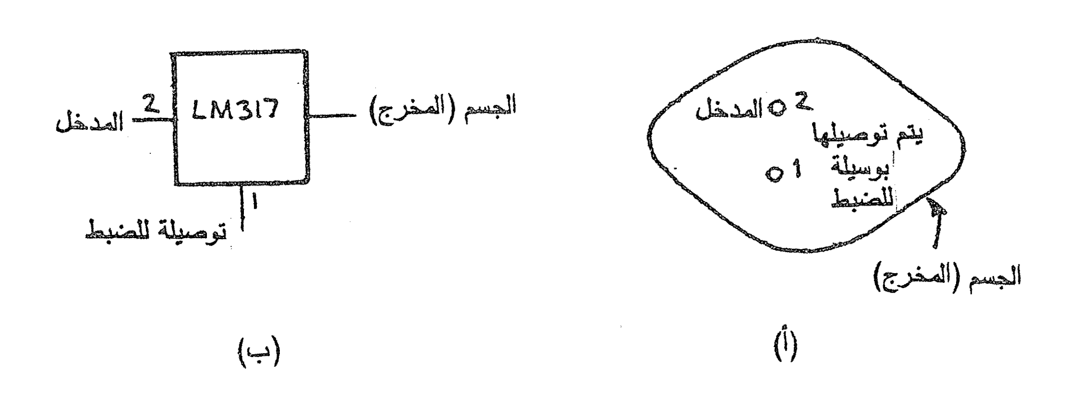
شكل (2-8) دائرة للحصول على جهد مستمر حتى 12 ڤولت



شكل (2-9) دائرة للحصول على ثلاثة مخارج بإستخدام عدد 2 مكبر تشغيلى



شكل (10-2) منظم جهد طراز 78XX



شكل (11-2) منظم جهد طراز LM 317

ومن الدوائر المتكاملة شائعة الاستخدام فى متممات الوقاية ، الأنواع الآتية :

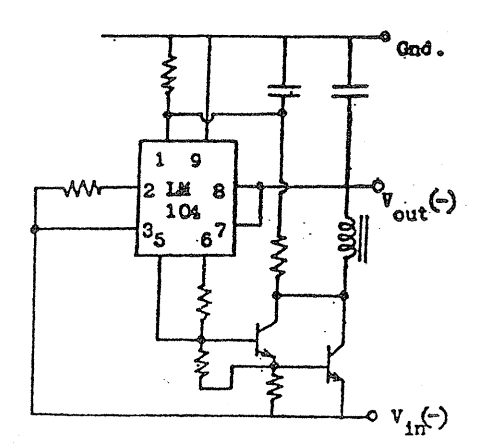
أ) طرازات ..... *LM 104 , LM 204 , LM 304* والتى يمكن الحصول منها على مخرج من صفر إلى *40-* ڤولت وتستخدم للمتممات التى تحتاج إلى جهد سالب لتشغيلها .

يوضح شكل *(2-12)* دائرة منظم جهد طراز *LM 104* ، نفس الطراز يمكن إستخدامه كمنظم للتيار كما فى شكل *(2-13)* .

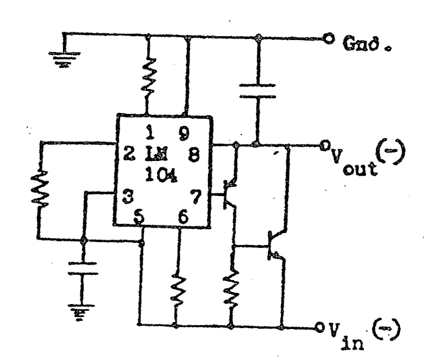
ب) طراز *LM 305* يشبه الطراز *LM 104* ولكن جهد المخرج يكون موجباً وفى حدود من *4.5* إلى *30* ڤولت .

ج) منظمات الجهد ذات القطبية المزدوجة *(Dual polarity regulators)* . نحصل منها على جهد مخرج *±15* ڤولت ويوجد بطرازات مختلفة مثل *RH 4194* , *LM 326 , LM 325* . ويوضح شكل *(2-14)* منظم جهد ذى قطبية مزدوجة طراز *RH 4194*

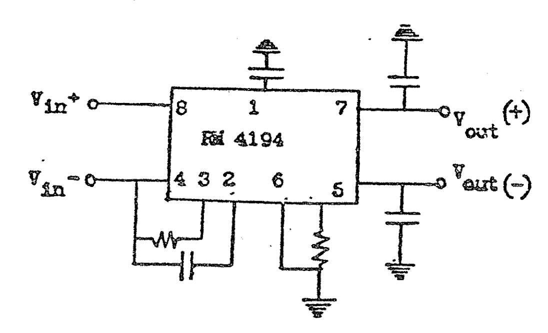
ويوضح جدول *(2-2)* خصائص بعض أنواع منظمات الجهد بإستخدام الدوائر المتكاملة .



شكل (2-12) منظم جهد طراز LM 104



شكل (2-13)منظم تيار طراز LM 104



شكل (2-14) منظم جهد ذو قطبيه مزدوجة

جدول (2-2) أنواع النبائط لمنظمات الجهد ذات القيم المتغيرة

نوع النبائط	القطبية	حدود جهد المدخل (ڤولت)	حدود جهد المخرج (ڤولت)	أقصى تيار مخرج (أمبير)	تنظيم الحمل %	أقصى إنخفاض فى الجهد (ڤولت)	درجة الحرارة
LM 104	سالب	8- إلى 50-	0.015- إلى 40-	0.012	0.1	2	M
LM 304	سالب	8- إلى 40-	0.035- إلى 30-	0.020	0.2	3	C
LM 305	موجب	8.5 إلى 40	4.5 إلى 30	0.012	0.1	3	C
LM 305A	موجب	8.5 إلى 50	4.5 إلى 40	0.045	0.4	3	C

أنواع النبائط لمنظمات الجهد المزدوجة القطبية

نوع النبائط	القطبية	حدود جهد المدخل (ڤولت)	حدود جهد المخرج (ڤولت)	أقصى تيار مخرج (أمبير)	تنظيم الحمل %	أقصى إنخفاض فى الجهد (ڤولت)
LM 325	±	±30	±15	0.1	0.06	2
LM 326	±	±30	±12	0.1	0.06	2

حيث : C حدود درجة الحرارة (تجارياً) من صفـر إلى +125 ℃

M حدود درجة الحرارة (تجارياً) من -55 ℃ إلى +150 ℃

مصادر تغذية نبائط الجهد المستمر

فى أوائل إستخدام أجهزة الوقاية الاستاتيكية ، كانت تستخدم مجموعة من بطاريات من النوع الجاف محكمة الغلق نيكل كادميوم *(Nickel Cadmium)* وكانت تعرف بخلايا برعم *(Button cells)* جهد كل خلية *1.2* ڤولت توصل على التوالى للحصول على قيمة الجهد المطلوب ، وتوصل مجموعة البطاريات على التوازى مع شاحن عبارة عن مقاومة ومكثف وزنير ديود وتغذى هذه المجموعة من الملفات الثانوية لمحولات التيار أو الجهد من خلال قنطرة توحيد ، بحيث يحتوى كل متمم وقاية على هذه الوحدة والموضحة فى شكل *(2-15)* ، ويوصل طرفى المخرج إلى دوائر المتمم التى تحتاج فى تشغيلها لهذا الجهد ، ومع تطور متممات الوقاية الاستاتيكية تم الإستغناء عن بطاريات النيكل كادميوم ، وأصبح شائعاً إستخدام إحدى الطريقتين الآتيتين :

أ) مصدر تغذية من محولات التيار أو الجهد

Power Supplies From Current and Voltage Transformers

أساس تشغيل متممات الوقاية أن تغذى بالتيار أو الجهد من الدوائر الثانوية لمحولات التيار أو محولات الجهد أو الإثنين معاً حسب نوع متمم الوقاية بالإضافة إلى تغذية المتمم بدوائر التيار المستمر *(D.C)* والذى يعتبر تغذية مساعدة للمتمم ولكنها ضرورية لتشغيله . وفى هذه الطريقة يتم الإستفادة من التيار الثانوى أو الجهد الثانوى لتحويله إلى تيار مستمر *(D.C)* من خلال قنطرة توحيد ودوائر موازنات *(Stabilization circuits)* .

ففى متممات الوقاية ذات الحساسية لقيم التيار (مثل الوقاية ضد زيادة التيار) يتم تحويل هذا التيار إلى *(D.C)* ، ومتممات الوقاية ذات الحساسية لقيم الجهد (مثل الوقاية ضد إرتفاع أو إنخفاض الجهد) يتم تحويل هذا الجهد إلى *(D.C)* ، بينما لمتممات الوقاية ذات الحساسية لقيم الجهد والتيار (مثل الوقاية المسافية) فيتم تحويل كلاً من الجهد والتيار إلى *(D.C)* .

أما متممات الوقاية التى تعمل بالتيار تستخدم الدائرة البسيطة الموضحة فى شكل *(2-16)* وتعرف هذه الدائرة بمنظم التوازى *(Shunt regulator)* ، وميزة هذه

الطريقة أنه لا تضاف بطارية نيكل كادميوم داخل المتمم ، ولكن من عيوبها أن قيمة العبء *(Burden)* على محولات التيار المستخدمة يكون عالياً .

يوضح شكل *(2-17)* طريقة الحصول على تيار مستمر من مصدرين متوازيين ، بعد عملية التوحيد ، أحد المصدرين من الدوائر الثانوية لمحول التيار والآخر من الدوائر الثانوية لمحول الجهد ، بشرط أن يستخدم محول التيار ومحول الجهد المركبين على نفس الوجه (أو الأوجه) ، ويجب تنعيم وترشيح التيار المستمر قبل تغذيته لدوائر الترانزستور بالمتمم ، وتتميز هذه الطريقة بكبر أحد المصدرين بصفة مستمرة ، ففى حالة الأحمال العادية يكون الجهد كبيراً ، بينما أثناء حدوث قصر يكون التيار كبيراً والجهد صغيراً .

كما يوضح شكل *(2-18)* دائرة محسنة للحصول على مصدر تغذية تيار مستمر *(D.C)* بإستخدام مصدرين متوازيين ، أحدهما عن طريق دائرة تعرف بدائرة تجزئ الزاوية *(Phase splite)* وتكون مغذاه من دوائر الجهد ، والأخرى عن طريق تحويل تيارات الثلاثة أوجه إلى جهد من خلال مقاومات *(Resistors)* أو ممانعات *(Transactors)* .

ومن عيوب الطرق السابقة عدم إستقرار جهد المخرج *(D.C)* وقيمته غير ثابتة نتيجة إعتماده على قيمة التيار والجهد والتى بدورهما يتغيران عندما تتغير حالة النظام ، ولمعالجة هذه العيوب تصمم دائرة المنظم بحيث تمتص كمية كبيرة من القدرة الناتجة من مخرج دائرة *(A.C)* ولكنها تكون فى هذه الحالة غالية الثمن جداً.

ومن الدوائر التى تمتاز بمخرج جهد *(D.C)* ثابت القيمة وتحتوى على مويجات *(Ripples)* صغيرة جداً ، ولها عبء *(Burden)* صغير ، تلك الدائرة الممثلة فى شكل *(2-19)* وتتلخص فكرتها فى أن مدخل دائرة التوحيد يكون عبارة عن مجموع مركبتين هما :

أ) مركبة الجهد وتمثل حالة جهد المصدر V_r عند موضع المتمم .

ب) مركبة جهد التيار ، وهى تحويل تيار المصدر إلى جهد من خلال ممانعة *(Transactor)* وتمثل حالة تيار المصدر ، وتساوى $Z_r I_r$.

وبذلك تعتمد محصلة المركبتين على حالة كل من الجهد والتيار ، ففى حالة

التشغيل العادى يكون المخرج ثابتاً نتيجة إرتفاع قيمة الجهد وإنخفاض قيمة التيار ، بينما عند حدوث قصر يكون المخرج أيضاً ثابتاً على الرغم من أن قيمة الجهد تكون منخفضة وقيمة التيار تكون عالية ، أى يحدث توازن بين الجهد والتيار بحيث تكون النتيجة الحصول على جهد تيار مستمر ثابت .

يجب إختيار دوائر الجهد المتردد *(A.C)* (الجهد الثانوى من محولات الجهد) بطريقة سليمة بحيث تؤخذ من محولات الجهد المركبة على خطوط التغذية أو المركبة على القضبان *(Bus bars)* الرئيسية ، حتى نضمن وجود مصدر تغذية *(D.C)* للمتممات فى جميع الحالات .

وتوجد طريقتان للحصول على مصدر تغذية *(D.C)* بإستخدام طريقة جمع المركبتين هما :

1) نظام أحادى الوجه

حيث يغذى المتمم بالجهد V_r والتيار I_r ، (من محولات التيار والجهد لنفس الوجه)، ومن الشكل *(2-19)* فإن معادلة جهد المصدر E هى :

$$\overline{E} = \overline{V}_r + \overline{I}_r \overline{Z}_s$$

من شكل *(2-20)* فإن جهد المدخل للقنطرة Vs يساوى :

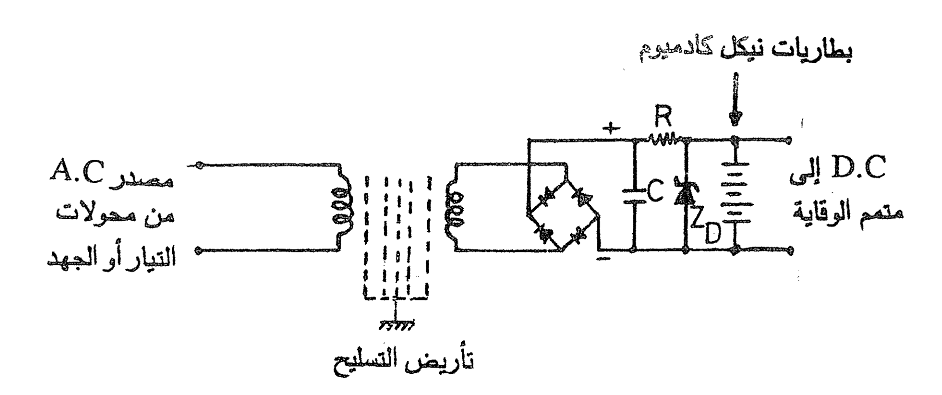
$$\overline{V}_S = K\overline{E} = K\overline{V}_r + \overline{I}_r \overline{Z}_r$$

$$K = \frac{V_S}{E}$$

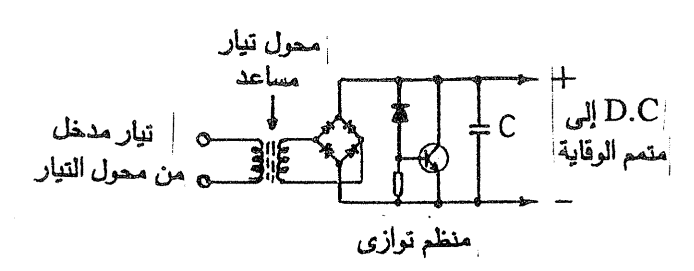
$$\overline{Z}_r = K\overline{Z}_S$$

ومعنى ذلك أن معادلة الممانع *(Transactor)* تساوى KZ_S وأن نسبة تحويل المحول المساعد هى $K = \frac{V_S}{E}$

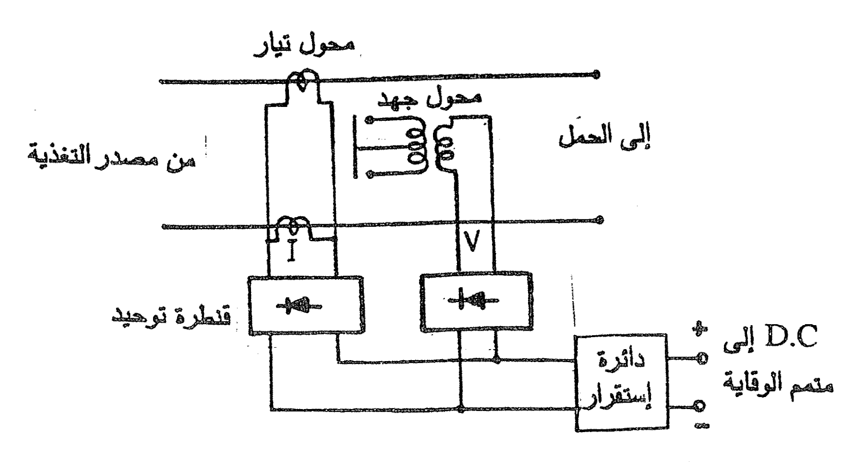
ولو أخذنا فى الإعتبار أن محول التيار ومحول الجهد مركبان على الوجه *(a)* للنظام ، فإن المعادلات السابقة تصبح :



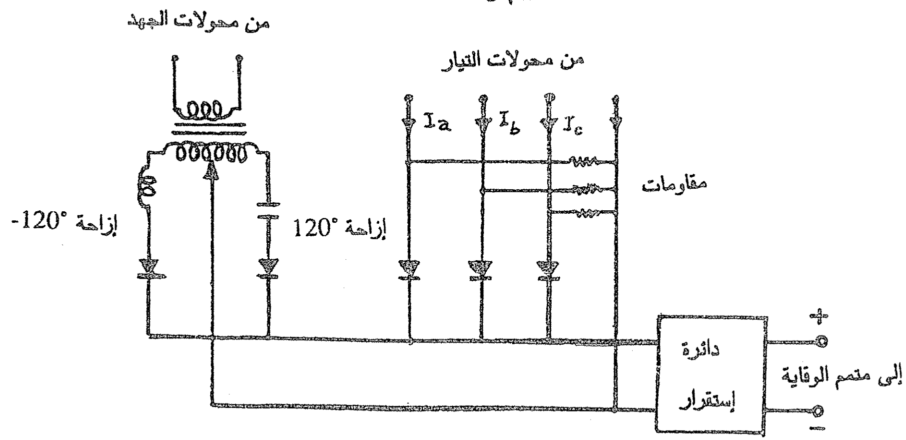
شكل (2-15) وحدة تيار مستمر



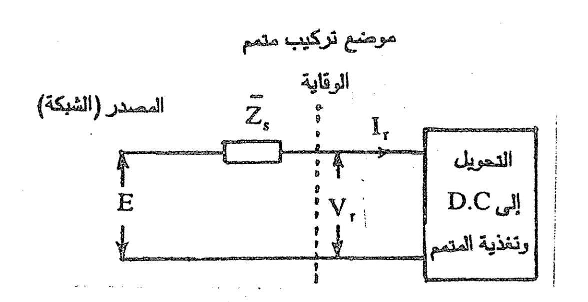
شكل (2-16) دائرة منظم توازى



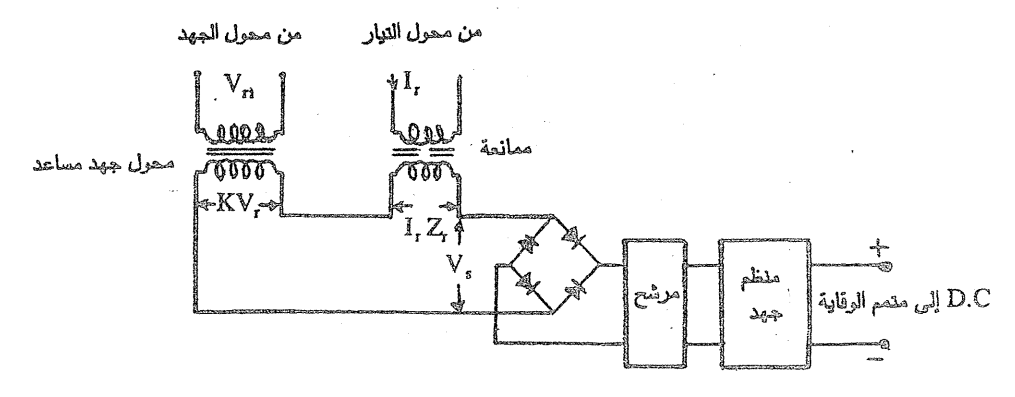
شكل (2-17) دائرة للحصول على تيار مستمر من مصدرى تيار وجهد



شكل (2-18) دائرة للحصول على تيار مستمر من مصدرى تيار وجهد



شكل (2-19) دائرة للحصول على تيار مستمر



شكل (2-20) الدائرة التوضيحية لشكل (2-19)

$$\overline{E}_a = \overline{V}_{ra} + \overline{I}_{ra}\,\overline{Z}_s$$

$$\overline{V}_S = K\overline{E}_a = K\overline{V}_{ra} + \overline{I}_{ra}\,\overline{Z}_r$$

$$K = \frac{V_S}{E_{phase}}$$

$$\overline{Z}_r = K\overline{Z}_S$$

2) نظام ثلاثى الأوجه

تستخدم فى هذه الطريقة ثلاثة محولات جهد مساعدة *(Auxiliary P.T's)* تتغذى من الملف الثانوى لمحولات الجهد للأوجه الثلاثة ، ثلاثة ممانعات *(Transactors)* تتغذى من الملفات الثانوية لمحولات التيار ، كما هو واضح فى شكل *(2-21)* وقياساً على طريقة نظام أحادى الوجه ، فإن الجهد V_S يصبح V_{Sa} ، V_{Sb} ، V_{Sc} للثلاثة أوجه a , b , c وهذه الجهود تغذى موحد ثلاثى الأوجه *(Three-phase rectifier)* للحصول على جهد تيار مستمر *(D.C)* حيث يتم ترشيحه من خلال مرشح .

وتمتاز هذه الطريقة بتساوى العبء *(Burden)* لكل من محولات التيار والجهد على كل وجه . وتستخدم هذه الطريقة لتغذية متممات الوقاية المسافية ومتممات كاشفات الأعطال *(Fault detectors)* .

ب) مصدر تغذية من بطاريات المحطة

Power Supplies From Station Battery

يوجد طريقتين للحصول على مصدر تغذية من بطاريات المحطة هما :

1) التحويل من *D.C* إلى *D.C*

يمكن تخفيض قيمة جهد بطاريات المحطة (*110* أو *220* ڤولت) إلى القيمة المناسبة والتى تحتاجها مكونات المتممات الاستاتيكية . وأبسط هذه الدوائر يوضحها الشكل *(2-22)* والتى تعرف بطريقة بوتنشومتر*(Potentiometer)* . إذ تتكون الدائرة

من مقاومة R متصلة على التوالى مع ديود D (فى إتجاه معاكس) ، ديودات زنير ZD لحفظ قيمة الجهد ثابتاً عند المتمم ، والمكثف C لإمتصاص التموجات الناشئة فى الجهد نتيجة توصيل معدات أخرى على نفس البطاريات. وتحتاج هذه الدائرة إلى متمم وقاية ضد إرتفاع الجهد لإعطاء دلالة عند حدوث إرتفاع فى جهد مصدر التغذية.

2) التحويل من $D.C$ إلى $A.C$ ثم $D.C$

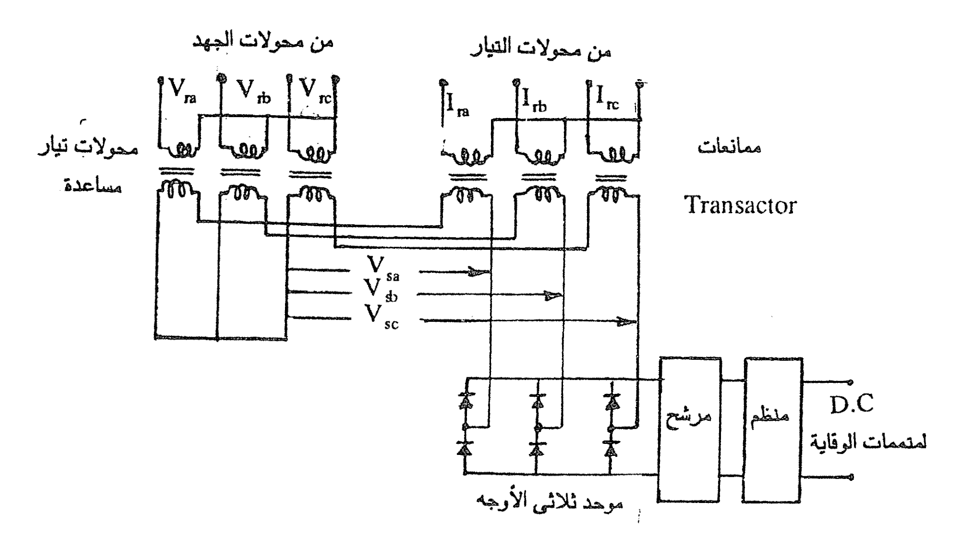
تتكون الدائرة من : محول لتحويل $D.C$ إلى $A.C$ *(Inverter)* ، ومحول خفض *(Transformer)* لتخفيض قيمة الجهد إلى القيمة المطلوبة ، وموحدات لتحويل $A.C$ إلى $D.C$ *(Converter)* ، ثم تنعيم مخرج الجهد ، ويوضح شكل *(2-23)* مكونات هذه الدائرة . وأحياناً تحتوى الدائرة على مرشح لجهد المدخل . وتمتاز هذه بوجود عزل بين مصدر التغذية (بطاريات المحطة) وبين جهد التيار المستمر الذى سيتم توصيله لمتممات الوقاية ولذلك يعرف المحول فى شكل *(2-23)* بأنه محول خفض وعزل فى الوقت نفسه .

ويوضح شكل *(2-24)* تمثيل لدائرة تحويل من $D.C$ (بطاريات المحطة) إلى $A.C$ (من خلال نبيطة لتحويل الجهد المستمر إلى جهد متردد ثم تخفيضه وتقسيمه إلى جزئين حسب القيمة المطلوبة) ثم تحويله إلى $D.C$ (قنطرة توحيد) ، كما يمكن أن يكون تنظيم الجهد على الدوائر الابتدائية (المدخل) ، يوضحه الشكل *(2-24)* ، أو على الدوائر الثانوية (المخرج) .

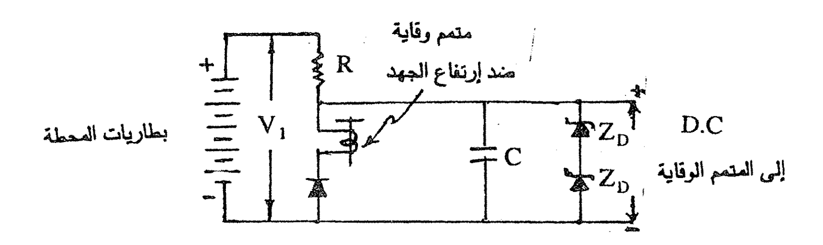
ويبين الشكل *(2-25)* توضيحاً لشكل *(2-24)* حيث تستخدم بطاريات المحطة $D.C$ كمدخل ومن خلال الترانزستورين T_1 , T_2 نحصل على موجات مربعة تغذى المحول بعدها يتم تحويل جهد مخرج المحول $A.C$ إلى جهد $D.C$ من خلال قنطرة التوحيد

ج) مصدر تغذية من بطاريات المحطة ومحولات التيار أو الجهد

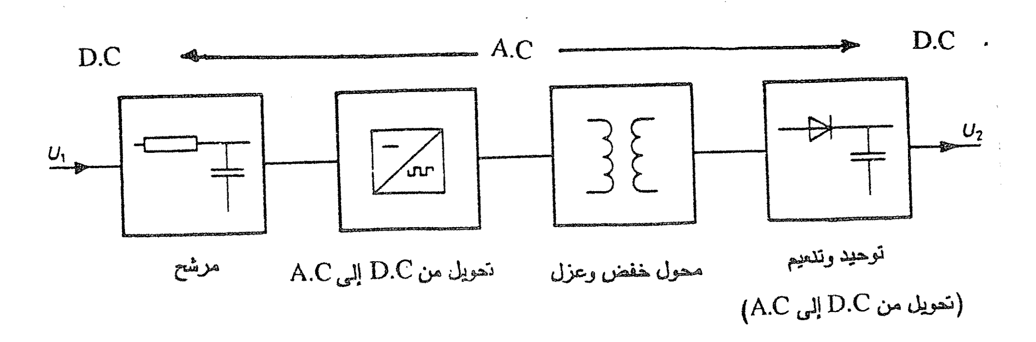
يمكن ، فى هذه الحالة ، تقسيم مصدر تغذية دائرة قياس متمم الوقاية إلى مصدرين ، أحدهما عن طريق تحويل التيار الثانوى لمحول التيار إلى $D.C$ ، والآخر



شكل (2-21) الحصول على تيار مستمر من نظام ثلاثى الأوجه



شكل (2-22) دائرة تحويل D.C / D.C



شكل (2-23) دائرة تحويل D.C / A.C / D.C

من بطاريات المحطة لتشغيل الجزء الخاص بدائرة الفصل لمتمم الوقاية من خلال متمم ريشة *(Reed relay)* ، وتمتاز هذه الطريقة بتخفيف العبء على محولات التيار، ويوضح هذا فى شكل *(2-26)* وبمراجعة الشكل *(2-27)* نجد حصولنا على مصدرى جهد تيار مستمر *(D.C)* من بطاريات المحطة وعن طريق تحويل جهد الملف الثانوى لمحول الجهد الى تيار مستمر ويتضح فى هذه الطريقة تخفيف العبء على محولات الجهد .

تطبيقات عملية :

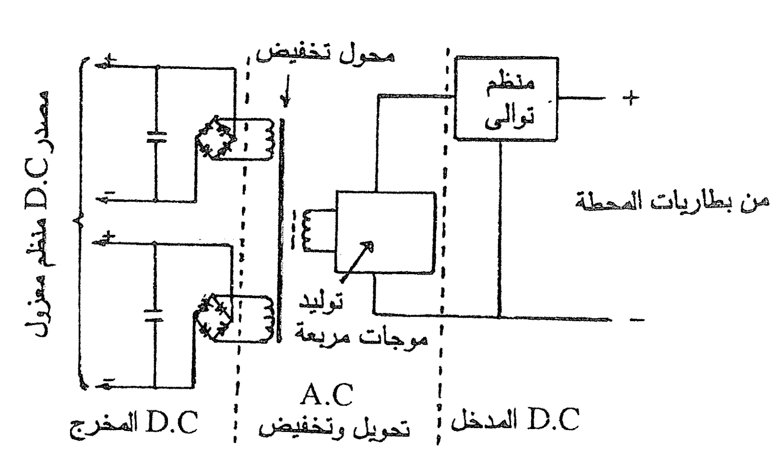
يوضح شكل *(2-28)*أ دائرة مصدر تغذية لجهاز وقاية ضد زيادة التيار طراز *(SFC)* صناعة أمريكية ، وفيها يستخدم تيار الملف الثانوى لمحول التيار للحصول على الجهود *(±15)* , *(±5.1)* ڤولت (تيار مستمر) . ويتم تحويل التيار المتردد *(A.C)* إلى تيار مستمر *(D.C)* من خلال قنطرة توحيد ، حيث ينظم الجهد من خلال عدد *4* زنير ديود D_7 , D_8 , D_9 , D_{10} للحصول على الجهود *(±15)* , *(±5.1)* ڤولت .

كل نصف موجة تيار يشحن مكثف المرشح C_3 حتى يصل الى قيمة جهد الزنير D_5 فيحدث إنطلاق لبداية التيريزتور *SCR* .

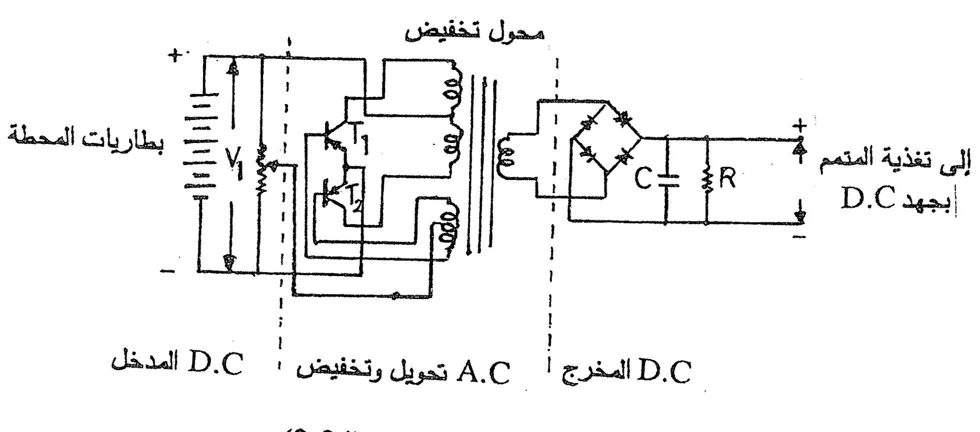
القيم الفعلية لثوابت هذه الدائرة :

$R_1 = 330\ \Omega$, 0.5 W	$C_1 = 0.22\ \mu F$, 100 V
$R_2 = 1000\ \Omega$, 0.5 W	$C_2 = 0.01\ \mu F$, 100 V
$R_3 = 680\ \Omega$, 2 W	$C_3 = 100\ \mu F$, 100 V
$R_5 = 5.6\ K\Omega$, 0.5 W	

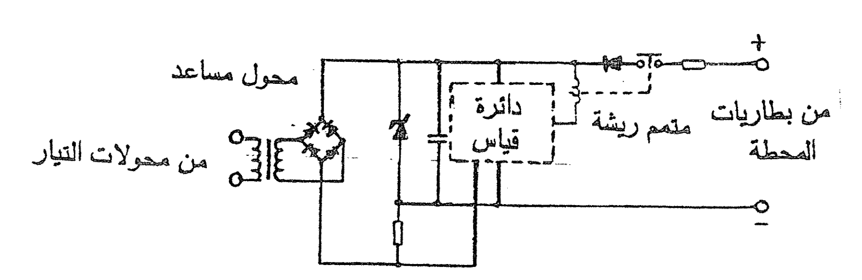
طراز الديودات	D_1 , D_2 , D_3 , D_4	*IN 5624*
طراز الديود	D_6	*IN 5061*
طراز زنير ديود	D_5	*IN 3095*
طراز زنير ديود	D_7 , D_{10}	*IN 758A*
طراز زنير ديو د	D_8 , D_9	*IN 751A*



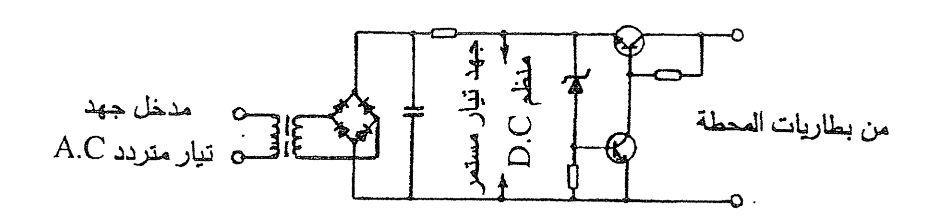
شكل (2-24) دائرة تحويل D.C / A.C / D.C



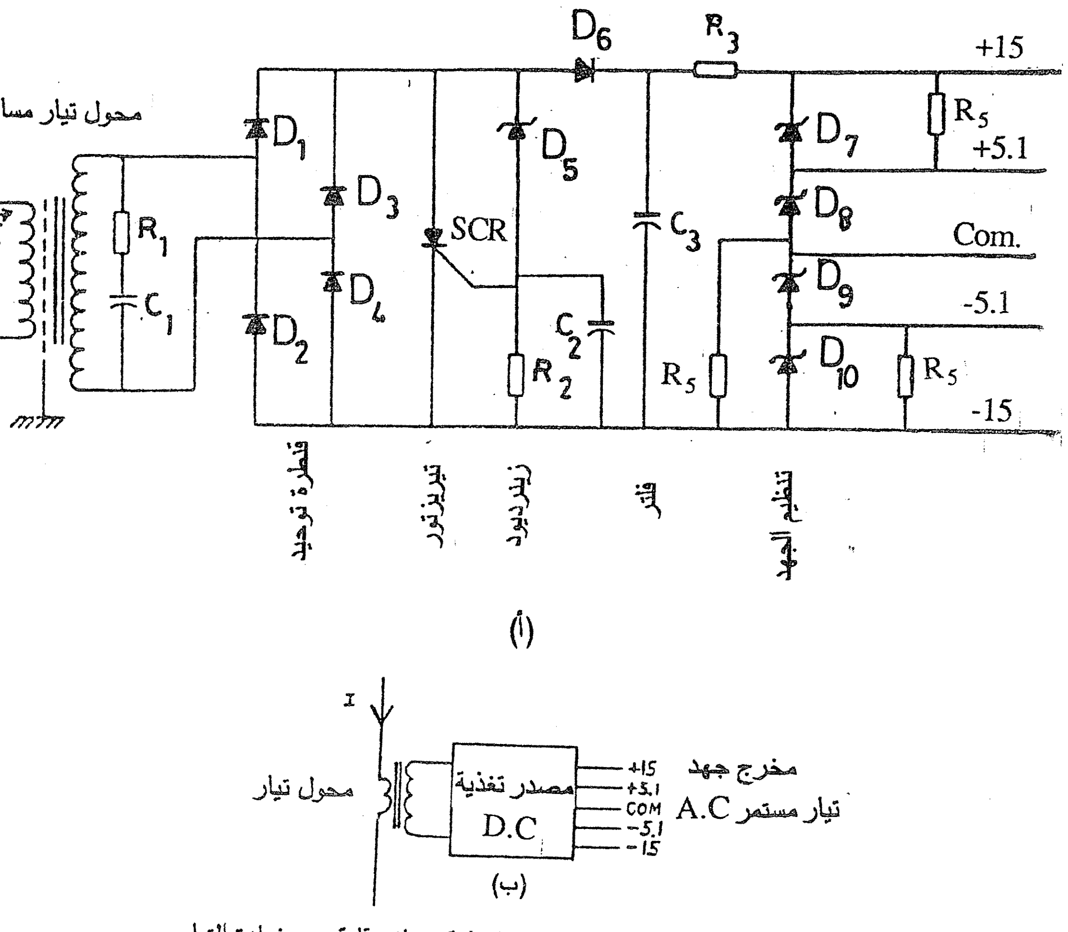
شكل (2-25) دائرة توضيحية لشكل (2-24)



شكل (2-26) مصدر تيارمستمر من بطاريات المحطة ومن محولات تيار



شكل (2-27) مصدر تيار مستمر من بطاريات المحطة ومن محولات الجهد



شكل (2-28) دائرة مصدر تيار مستمر لتغذية جهاز وقاية ضد زيادة التيار

الباب الثالث
المؤقتات
TIMERS

يمكن أن تصنف متممات الوقاية من حيث إحتوائها على عنصر زمنى (المؤقت) إلى :

* متممات ذات تأخير زمنى *(Delay time)* محدد القيمة .
* متممات ذات زمن لحظى *(Instantaneous)* والذى يكون عادة *0.1* ثانية .
* متممات ذات سرعة عالية *(High speed)* والتى تكون فى حدود *0.05* ثانية أو أقل ، ويعبر عن زمن تشغيل هذه المتممات بعدد من دورات *(Cycles)* تردد المصدر ، فمثلاً متمم ذو سرعة تساوى دورة واحدة *(One cycle)* تعنى زمن يساوى : *20* مللى ثانية لتردد *50* هرتز *(1/50 = 20 ms)*

ولا تحتوى المتممات ذات الزمن اللحظى أو ذات السرعة العالية على عنصر زمنى (المؤقت) ، ولكن هذا الزمن المذكور هو زمن تشغيلها . بينما تحتوى المتممات ذات التأخير الزمنى على مؤقت يمكن أن يكون عنصراً مستقل عن متمم الوقاية وفى هذه الحالة يعرف بمتمم الزمن *(Time relay)* ، أو يكون أحد عناصر متمم الوقاية وفى هذه الحالة يعرف بعنصر الزمن *(Time element)* ، وأياً كان فإنه مؤقت *(Timer)* . وفيما يلى توضيح للأنواع المختلفة :

أ) المؤقتات الميكانيكية *Mechanical Time Delay*

عند بداية تصنيع متممات الوقاية ، كان المؤقت عبارة عن وعاء كبح *(Dashpot)* مملوء بالزيت ، ويتحرك الزيت فى عكس إتجاه حركة المتمم ، ويتحرك ذراع المتمم خلال كباس إسطوانى والذى يدفع الزيت من فتحة بالأسطوانة ويتمثل التأخير الزمنى بالزمن المأخوذ حتى يتلامس ذراع المتمم بنقط التلامس الثابتة . كما أستخدم منفاخ يعمل بالهواء المضغوط للحصول على تأخير زمنى بطئ للمتمم .

ورغم ذلك لم تمكن هذه الطرق من الحصول على تأخير زمنى دقيق ، وللحصول على ضبط زمنى دقيق تم إستخدام مفتاح زئبقى (*Mercury switch*) ، والذى يتكون من أنبوبة زجاجية تحتوى على زئبق ، وتكون الأنبوبة مائلة على نقطة إرتكاز ومثبت على أحد نهايتيها نقطتى التلامس .

ب) المؤقتات الكهرومغناطيسية *Electromagnetic Time Dalays*

تحتوى هذه المؤقتات على مجموعة من التروس ، والتى يمكن تشغيلها بإحدى هذه الطرق :

* دائرة مغناطيسية وكباس (*Plunger*)
* محرك متزامن (*Synchronous motor*)
* حافظة مفصلية رقائقية (*Laminated hinged armature*)

وقد ذكرنا جميع هذه الطرق فى الباب الثانى من الجزء الأول من كتاب «الوقاية فى الشبكات الكهربائية» . ومن هذه الأنواع نحصل على تأخير زمنى محدد .

ويوضح شكل (*3-1*) مؤقت كهرومغناطيسى - صناعة ألمانية - تعتمد فكرة عمله على تشغيل مجموعة من تروس عن طريق محرك متزامن ، ويحتوى المتمم على وسيلة لضبط الزمن من قيمة الصفر وحتى *12* ثانية . ويمكن تمثيل المؤقت بملف ، يعمل بالتيار المستمر (*D.C*) أو التيار المتردد (*A.C*) ونقطتى تلامس (*Contact*) . وكما سبق وأن ذكرنا فى الجزء الأول أيضاً ، أنه يمكن الحصول على خاصية الزمن العكسية من المتمم ذى القرص .

ج) المؤقتات الاستاتيكية *Static Time Delays*

يتكون المؤقت الاستاتيكى ، أساساً ، من مكثف ومقاومة ، ويعتمد على التحكم فى زمن شحن المكثف ، عند تسليط جهد E بين طرفى المدخل فى شكل (*3-2*)أ نحصل على جهد مخرج V_C يخضع للمعادلة الآتية :

$$V_C = E(1 - e^{-t/RC})$$

حيث RC هو ثابت الزمن

ويكون زمن التأخير للمؤقت T_C يساوى :

$$T_C = RC\ Log_e\ [\ \frac{E}{E - V_T}\ ]$$

حيث V_T هو قيمة جهد بداية تشغيل المؤقت

وبتغيير قيمتى R , C يمكن الحصول على قيم مختلفة للزمن . وتوضح الأشكال *(3-2)* أ ، ب ، ج أنواعاً مختلفة من دوائر المؤقتات ، وفيما يلى توضيح للدائرة بشكل *(3-2)*ج والممثلة بشكل *(3-3)* حيث يوضح دائرة مؤقت عبارة عن محول ذاتى *(Autotransformer)* ومكثف .

ويعتمد معدل شحن المكثف على قيمة معاوقة مغنطة المحول *(Magnetizing Impedance)* وتساعد مقاومة التوازى على سرعة شحن المكثف ، حيث يحدث الجهد بين طرفى الملف نتيجة الفيض المغناطيسى بالقلب ويكون موجباً بالنسبة للمرجع ، كما يعمل الديود على إعاقة مرور التيار خلال دورة الزمن . ويكون جهد المخرج مساوياً لجهد المدخل فى حالة ما إذا كان مجموع جهد المكثف والجهد الحادث على مخرج المحول بإشارة سالبة .

ويتميز هذا النوع بالآتى :

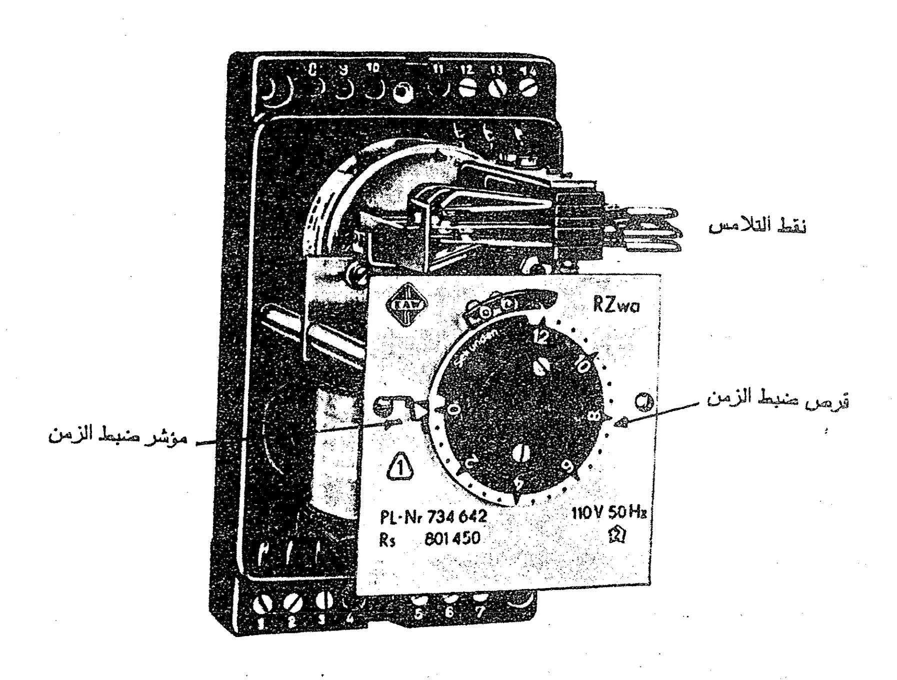
١) لا يحدث هبوط فى الجهد بين المدخل والمخرج .

٢) نحصل على تأخير زمنى دقيق لأن معدل الزيادة فى جهد المخرج يكون سريعاً جداً بعد التأخير الزمنى .

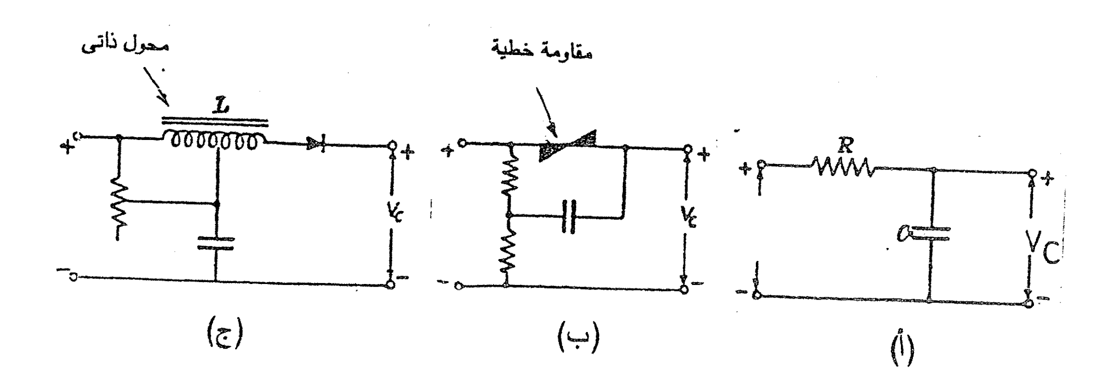
بإختيار القيمة المناسبة للمقاومة R وبتغييرها يمكن الحصول ، من هذه الدائرة ، على قيم للتأخير الزمنى بالمللى ثانية .

ولكى نحصل على أزمنة صغيرة جداً ، ميكروثانية ، تستخدم مجموعة من المكثفات والمقاومات توصل كما فى شكل *(3-4)* .

وللحصول على تأخير زمنى بالثانية يستخدم ترانزستور مع دائرة *R-C* كما فى شكل *(3-5)* أما للحصول على أزمنة أطول (دقائق أو ساعات) يمكن إستخدام نفس



شكل (3-1) مؤقت كهرومغناطيسى



شكل (3-2) المؤقتات الاستاتيكية

الدائرة بشكل *(3-5)* مع التحكم فى تيار الترانزيستور لكى يكون صغيراً جداً وذلك بإستخدام مكثف تانتاتم *(Tantatum capacitor)* ذى تسريب صغير جداً ، وتعتمد دقة قيم الأزمنة على كل من الترانزستور والمكثف . (يتحول الترانزستور لحالة التوصيل *On* عندما يكون الجهد خلال المكثف V_C أكبر من الجهد $(KV + V_{BE})$) .

وللحصول على قيم دقيقة جداً لزمنى التشغيل والفصل ، يستخدم كاشف مستوى *(Level detector)* أو دائرة إطلاق «شميت» *(Schmitt trigger circuit)* مع دائرة المؤقت (دائرة *R-C*) . كما فى شكل *(3-6)* ، عند إغلاق المفتاح *S* يغذى المؤقت بجهد تيار مستمر *(D.C)* ويبدأ المكثف *C* فى الشحن ونحصل على مخرج من دائرة كاشف المستوى عندما يتعدى جهد المكثف قيمة جهد الحياز *(Bias V voltage)* بالقيمة ΔV . ويستخدم مخرج كاشف المستوى لتشغيل عنصر المخرج *(output unit)*

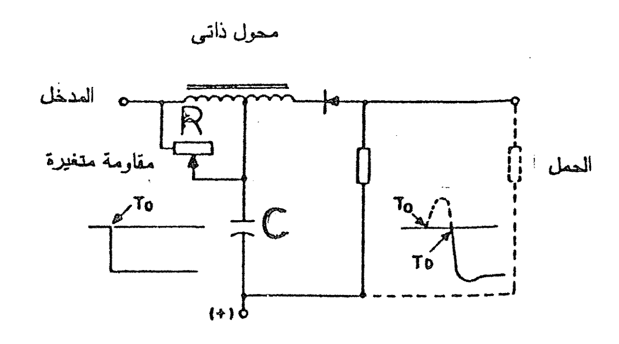
وعند فتح المفتاح *S* ، أثناء أو بعد بداية إشتغال الموقت ، فإن معاوقة مدخل كاشف المستوى تخرج من الدائرة (حيث أن R_3 أصغر من R_1) ويفرغ المكثف الشحنة بسرعة . أما عند توصيل المفتاح *S* فإن مقسم المقاومات R_4 , R_5 يؤثر بسرعة بشحنة صغيرة للمكثف عن طريق الديود D_1 ، ويلغى الجهد الناتج ، أو يتجاوز ، أى جهد متبقى على المكثف .

ويجب أن يكون المكثف *C* والمقاومة R_1 لهما درجة دقة عالية جداً حتى يمكن الحصول على أزمنة دقيقة .

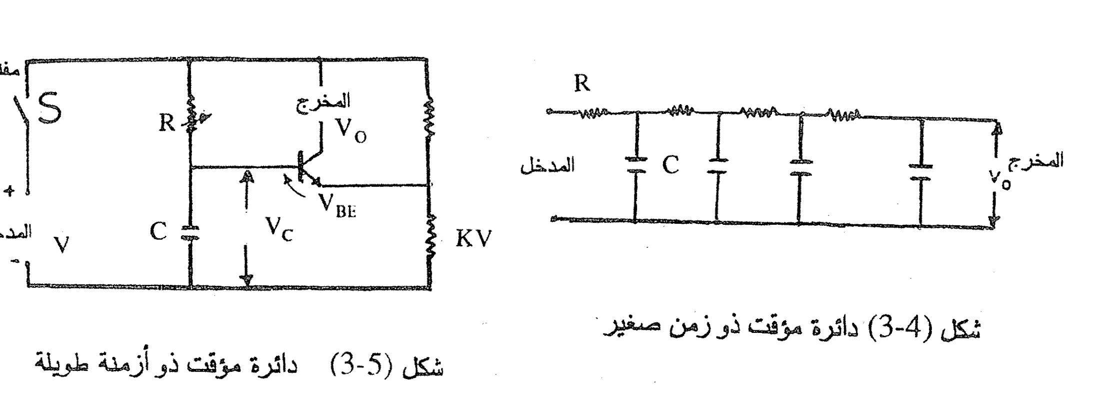
كذلك يجب أن يصمم المؤقت بحيث يعالج العوامل الآتية :

* حدوث أى تغيير فى قيم جهد المصدر
* التغيير فى ثوابت أو خصائص المواد شبه الموصلة
* التغيير فى درجة الحرارة المحيطة

وقد إستخدم الديود D_2 لتعويض التغيير فى الخصائص الأمامية للديود D_1 نتيجة تغير درجات الحرارة .

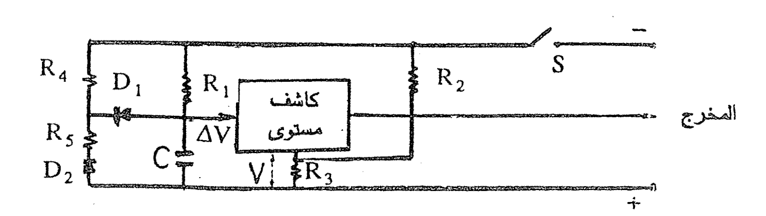


شكل (3-3) مؤقت استاتيكى



شكل (5-3) دائرة مؤقت ذو أزمنة طويلة

شكل (4-3) دائرة مؤقت ذو زمن صغير



شكل (6-3) دائرة مؤقت زمنى يحتوى على كاشف مستوى

يمكن أن يكون المفتاح S عبارة عن مفتاح من المواد شبه الموصلة *(Semiconductor switch)* ، أو تكون نقطتى تلامس بمتمم وقاية يقوم بتشغيل المؤقت .

ومن القيم العملية لبيانات مؤقت استاتيكى :

* درجة الدقة *(Accuracy)* = $\pm5\%$ من قيمة الضبط .
* درجة الحرارة *(Temperature)* = $\pm3\%$ لجميع قيم الضبط لحدود درجة الحرارة من $-50°$ إلى $60°$
* جهد مصدر التغذية *(Supply voltage)* = $\pm0.5\%$ لحدود التغير فى الجهد من -130% إلى 75%
* حدود الزمن *(Timing range)* = $1 - 30$ مللى ثانية .
* زمن الإستعادة *(Reset time)* = 50 مللى ثانية (للحصول على 95% دقة للزمن التالى) .

تمتاز المؤقتات الاستاتيكية عن المؤقتات الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية بأنها بسيطة جداً .

وفيما يلى بعض دوائر المؤقتات الاستاتيكية .

1) دائرة مؤقت إطلاق «شميت» *Schmitt Trigger Delay Circuit*

يتكون المؤقت من دائرة إطلاق «شميت» وعنصر زمنى R-C كما فى شكل *(3-7)* ويكون وضع البداية للدائرة أن الترانزستور T_1 فى حالة توصيل *(ON)* ، وعند وصول جهد شحن المكثف C إلى القيمة المطلوبة يتحول T_1 إلى حالة الفصل *(OFF)* ويتحول الترانزستور T_2 إلى حالة التوصيل ، وبالتالى يمد ملف المتمم المساعد AR بجهد تشغيله . أما الديود D_1 فيمنع إشتغال دائرة «شميت» حتى يصل جهد شحن المكثف لقيمة أكبر من جهد الباعث . بينما يساعد الديود D_2 على الإستعادة اللحظية عند فتح المفتاح S . ويتم التحكم فى قيمة الزمن عن طريق المقاومة R ، بينما تستخدم المقاومة المتغيرة P *(Potentiometer)* لتعويض التغيير فى سعوية المكثف C .

2) دائرة مؤقت أحادى الإستقرار *Monostable Delay Circuit*

يتكون المؤقت من دائرة أحادى الإستقرار وعنصر زمنى *R-C* ومحول كما فى شكل *(3-8)*أ . وتعتمد قيمة التأخير الزمنى بين إشارة المدخل وإشارة المخرج على قيم *R , C* . ونحصل على إشارة المخرج من المحول ، والتى تكون ذات نبضة حادة وتتناسب مع معدل تغير التيار لمجمع الترانزستور T_2 وعندئذ يتحول الترانزستور T_2 لحالة الفصل . ويوضح شكل *(3-8)*ب موجات هذه الدائرة .

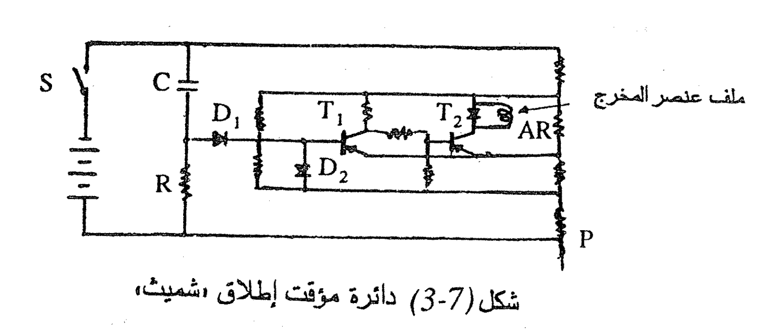
3) دائرة مؤقت مولد موجات سن المنشار

Saw-Tooth Generator Delay Circuit

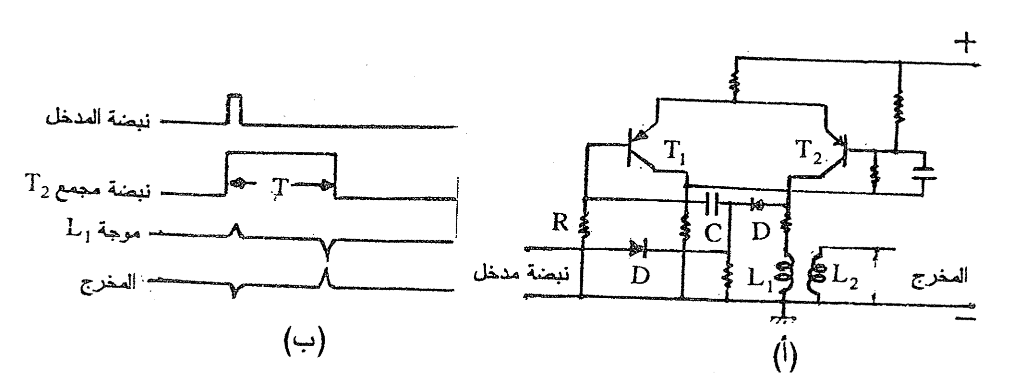
يوضح شكل *(3-9)* فكرة هذا النوع ، حيث يتم تحويل إشارة المدخل إلى موجات سن المنشار ثم تقارن بجهد التحكم ونحصل على إشارة المخرج ، بعد تأخير زمنى معين ، من دائرة إطلاق . وعند لحظة تقاطع موجة سن المنشار بجهد التحكم ، لاحظ شكل *(3-9)*ب ، نحصل على إشارة المخرج ، والتى تتأخر بزمن t عن إشارة المدخل .

ويبين الشكل *(3-10)* أ الدائرة التوضيحية لشكل *(3-9)*أ . فمن خلال الترانزستور T_1 نحصل على نبضات المدخل وموجات سن المنشار ويشحن المكثف إلى قيمة تعتمد على التحكم . ونحصل على جهد التحكم من خلال الديود والمكثف C_2 . وعندما يصبح جهد الباعث (ذى الإشارة السالبة) أكبر من قيمة جهد التحكم (خلال إنحرافه الهابط) ، يتحول الديود إلى حالة التوصيل وتصل قيمة شحنة C_2 إلى أقصى جهد إختلاف . وإذا زاد جهد الباعث ببطئ ، فإن المكثف يحتفظ بالشحنة ويصبح الموحد ذى حياز عكسى . وتفرغ شحنة المكثف C_2 خلال باعث الترانزستور T_2 وبالتالى نحصل على سلسلة نبضات للمخرج من هذا الترانزستور ويصبح المكثف جاهزاً للدورة الزمنية التالية .

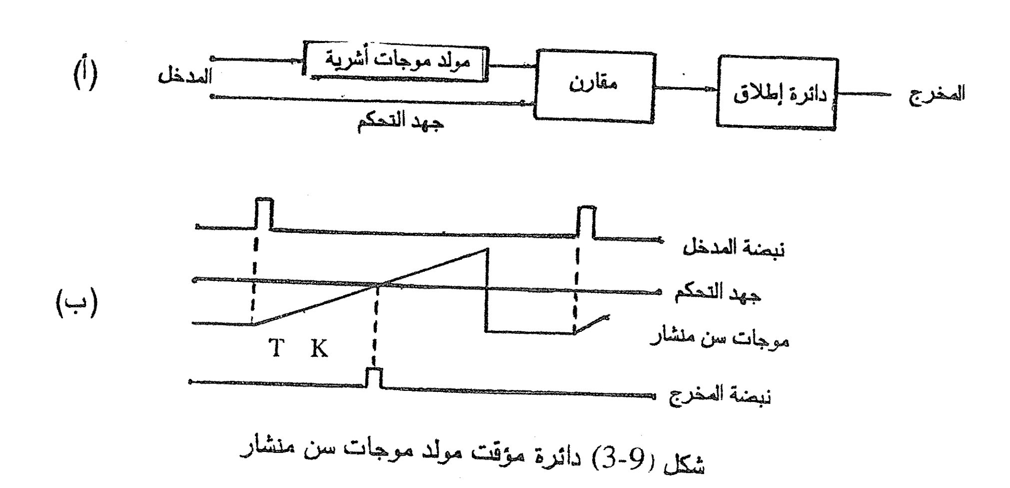
ويمكن أن تتغير قيمة التأخير الزمنى من القيمة t_1 إلى القيمة t_2 عن طريق تغيير جهد المكثف C_2 من القيمة V_1 إلى القيمة V_2 كما فى شكل *(3-10)*ب .



شكل (3-7) دائرة مؤقت إطلاق «شميث»



شكل (3-8) دائرة مؤقت أحادى الإستقرار



شكل (3-9) دائرة مؤقت مولد موجات سن منشار

4) دائرة مؤقت بإدماج ترانزستور أحادى الوصلة وثيريزتور

Delay Circuit Incorporating UJT and Thyristor

عند إستخدام الثيريزتورلتشغيل دائرة فصل قاطع التيار فإنه يتحكم فى زمن جهد إطلاق الثيريزتور *(Trigger or Firing)* بإستخدام مقاومة ومكثف وترانزستور أحادى الوصلة *UJT* ، كما فى شكل *(3-11)* .

فعند تسليط إشارة المدخل بين الطرفين *A , B* ، يبدأ المكثف *C* فى الشحن خلال المقاومة *R* ، وعندما يتعدى جهد المكثف قيمة جهد أقصى نقطة تشغيل للترانزستور *UJT (Peak point voltage)* يتحول الترنزستور إلى حالة التوصيل ، يبدأ المكثف فى تفريغ الشحنة خلال بوابة الثيريزتور (أى يمر تيار بالبوابة) مسبباً حدوث إطلاق للثيريزتور ، أى يتحول الثيريزتور إلى حالة التوصيل ، وبذلك يمد ملف فصل قاطع التيار بجهد تشغيله ، وتعتمد قيمة التأخير الزمنى بين إشارة المدخل ولحظة تشغيل ملف فصل قاطع التيار على قيمتى *C , R* .

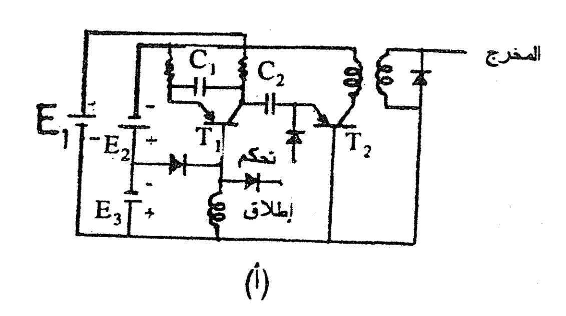
وتوجد أنواع كثيرة من المؤقتات ذات التأخير الزمنى المحدد *(Definite time)* نذكر فيما يلى بعضها :

1) يوضح شكل *(3-12)* دائرة مؤقت ، صناعة أمريكية . تتكون الدائرة من ثيريزتور وترانزستور أحادى الوصلة *UJT* ومقاومة ومكثف وهى تماثل الدائرة فى شكل *(3-11)* مع إضافة المقاومات R_4 , R_3 , R_2 والتى يتم عن طريقها تحديد جهد التيار المستمر المراد تشغيل المؤقت به *(48* أو *125* أو *250* ڤولت) .

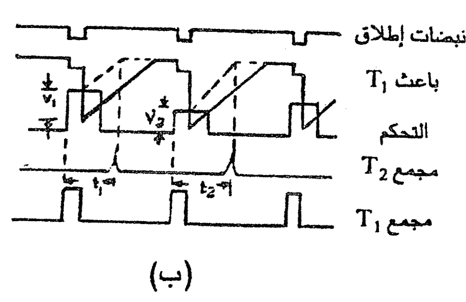
تم إضافة عدد 2 زنير ديود كمنظم جهد *(Regulator)* على التوازى مع جهد مصدر التغذية ، لضمان ثبات الجهد .

وعند فصل مصدر التغذية ، يتم تفريغ شحنة المكثف C_1 فى مسار ذى مقاومة صغيرة ، يتكون من المقاومة R_5 والديود D_1 وبذلك نحصل على إستعادة *(Reset)* سريعة .

ويضبط الزمن المطلوب عن طريق تغيير قيمة المقاومة المتغيرة R_1 والتى تتغير

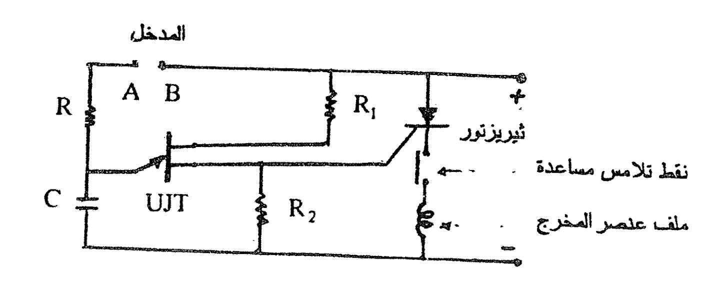


(أ)



(ب)

شكل (10-3) الدائرة التفصيلية للمؤقت فى شكل (9-3)



شكل (11-3) دائرة مؤقت بإدماج ترانزستور أحادى الوصلة وثيريزتور

قيمتها من صفر إلى *1.5* ميجا أوم .

وتكون قيمة مقاومة الملف لعنصر المخرج تساوى *650* أوم .

أما إذا إحتاج الأمر إلى مؤقت يعمل بجهد متردد ، فإنه يتم إضافة قنطرة توحيد تغذى بمصدر الجهد المتردد بينما يتصل المخرج بالدائرة نفسها كما فى شكل *(3-12)* وهذا موضح فى شكل *(3-13)* مع إضافة مكثف (على طرفى القنطرة) بقيمة *1* ميكروفاراد .

2) يوضح شكل *(3-14)* مثالاً لمؤقت ، إنتاج ألمانى . يستخدم كجزء من متمم الوقاية ، أو يستخدم كمؤقت مستقل لأغراض مختلفة ويعتمد زمن التشغيل للمتمم على التحكم فى تفريغ المكثف . ونحصل على جهد التحكم بعد التكبير ، لتشغيل الملف *A* بشكل *(3-14)*ب ، أى نحصل على جهد المخرج بعد زمن معين ، وإستخدامه لتشغيل ملف متمم مساعد مثلاً .

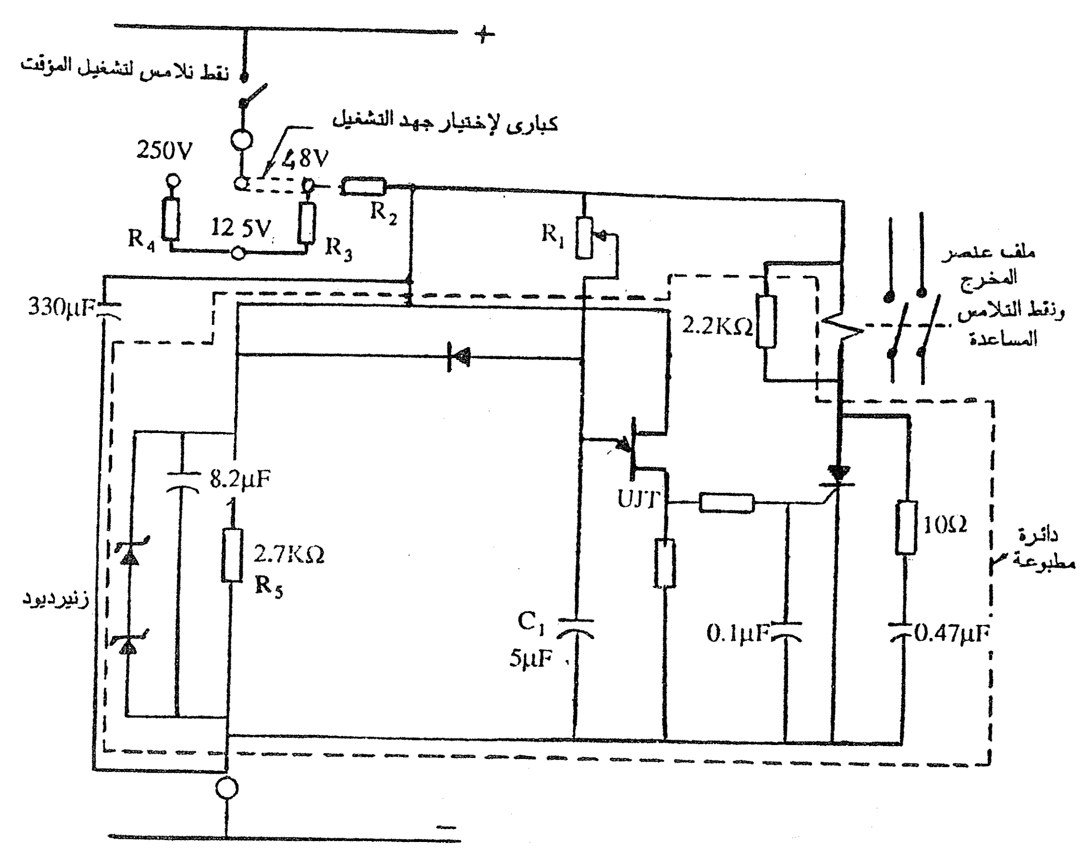
ويتم التحكم فى ضبط قيمة زمن التشغيل عن طريق خمسة سدادات أصبعية *(Plug)* على واجهة المتمم والممثلة بالعلامة Θ ، كما فى شكل *(3-14)* أ يقابلهم المقاومات الموضحة بشكل *(3-14)* ب . وتتراوح حدود ضبط زمن هذا المؤقت من *3* ثوانى وحتى *96* ثانية تبعاً للمعادلة الآتية :

$$t/s = 3 + \Theta + \Theta + \ldots\ldots \quad sec.$$

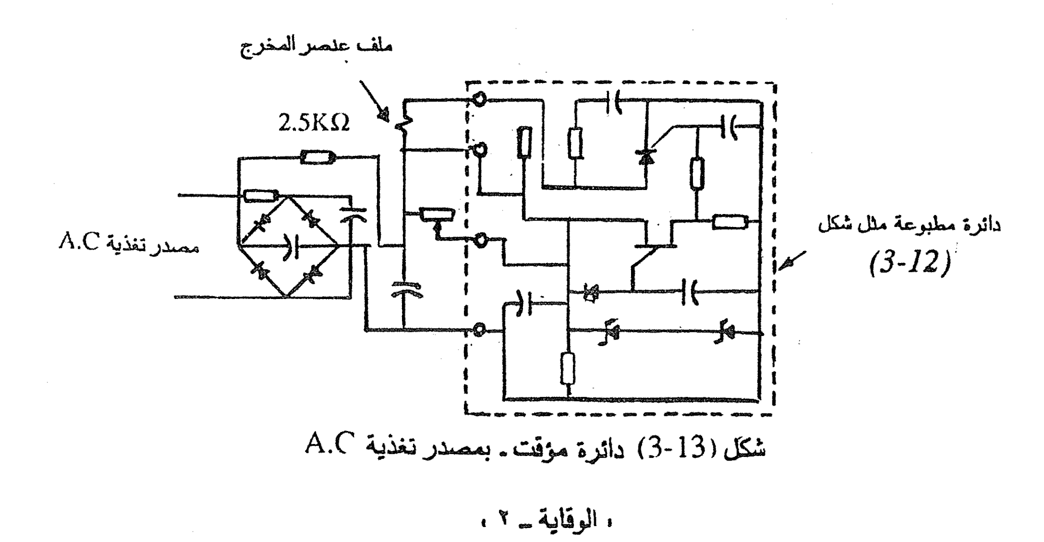
نحصل على أقل قيمة للزمن وهى *3* ثوانى إذا كانت جميع السدادات فى وضع رأسى ، بينما نحصل على أكبر قيمة للزمن وهى *96* ثانية عن طريق تغيير وضع الخمسة سدادات فى وضع أفقى ، ويمكننا الحصول على عدد *32* قيمة مختلفة للزمن بإستخدام أى من أو كل السدادات .

3) يوضح الشكل *(3-15)* مثالاً آخر لمؤقت ، صناعة سويسرية . له نفس الفكرة السابقة ، ولكن يمتاز بإمكانية الحصول منه على كسور الثانية عن طريق مجموعتين من السدادات ، وطبقاً للمعادلة الآتية :

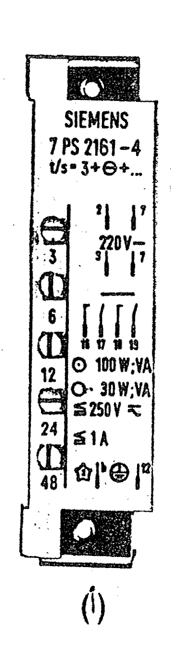
$$t = K(t_1 + t_2) \qquad sec$$



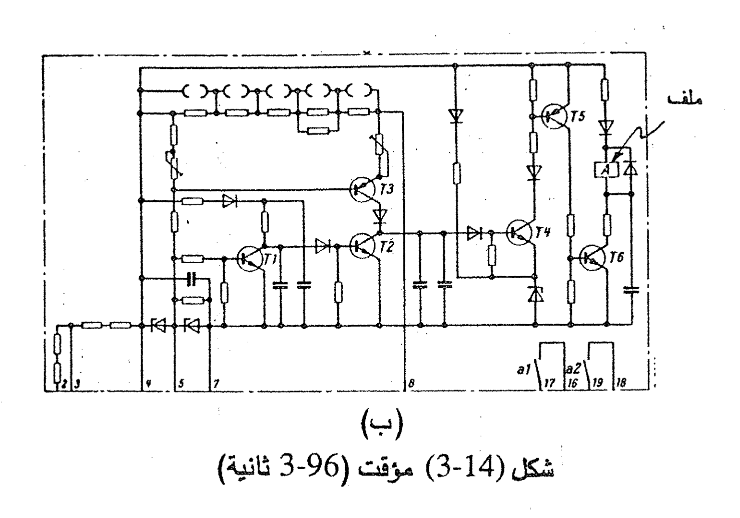
شكل (12-3) دائرة مؤقت مصدر تغذية D.C



شكل (13-3) دائرة مؤقت ـ بمصدر تغذية A.C

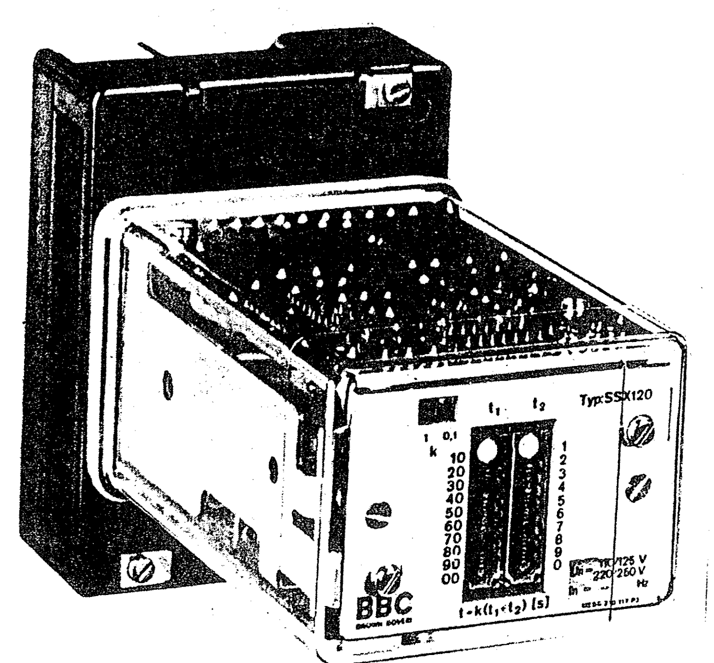


(أ)



(ب)

شكل (3-14) مؤقت (3-96 ثانية)



شكل (3-15) مؤقت يمكن ضبطه على كسر من الثانية

حيث : K ثابت يساوى 1 أو 0.1 (لاحظ المفتاح K بالشكل (3-15))
t_1 حدود الضبط من 10 إلى 90 ثانية
t_2 حدود الضبط من 1 إلى 9 ثوانى

بمعنى آخر أن حدود التأخير الزمنى t تكون :
* من 0.1 إلى 9.9 ثانية بخطوة 0.1 ثانية
* من 1 إلى 99 ثانية بخطوة 1 ثانية

4) يوضح شكل *(3-16)* مؤقت إنتاج سويسرى . له حدود ضبط من *0.1* ثانية إلى *1* ثانية عن طريق إستخدام مؤشر *(Knob)* . ويتكون المؤقت من عناصر من *R , C* والتى تعطى بداية إطلاق *(Trigger)* للثيريزتور خلال مولد نبضة *(Pulse generator)* وفى النهاية يلقط ملف المخرج *(Output coil)* .

د) المؤقتات بإستخدام الدوائر المتكاملة *IC Timer*

فى عام *1972* أنتجت أول دائرة متكاملة يرمز لها بالأرقام *555* عبارة عن مؤقت، إستخدمت ومازالت تستخدم فى أغراض متعددة .

وتتكون الشريحة *555* كما فى شكل *(3-17)* من :

1) دائرة ثنائية الإستقرار *(Bistable circuit)* (أو دائرة النطاط *Flip-Flop*)

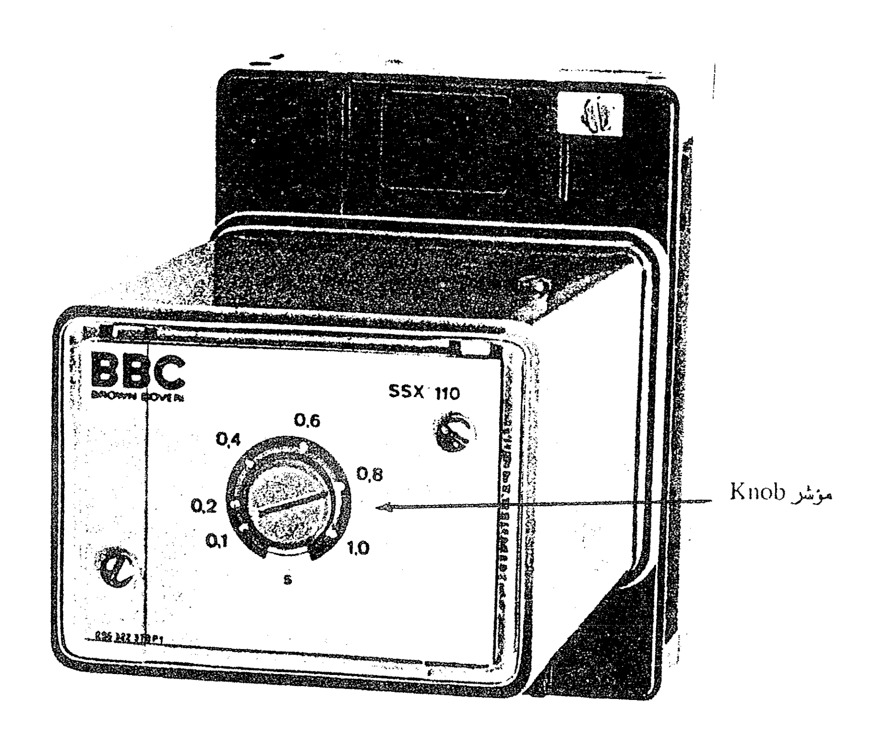
2) عدد *2* مقارن *(Comparator)* .

3) ترانزستورات ومقاومات .

وتعمل الشريحة فى مجملها كدائرة أحادى الإستقرار *(Monostable)* ، أو كدائرة عدم الإستقرار *(Astable)* كما سنوضح فيما بعد .

وفيما يلى فكرة مبسطة عن عمل هذه الشريحة :

تمثل المقاومات R مقسم مقاومات يعمل على أن يكون جهد البدء *(Threshold)* للمقارن رقم *1* يساوى *2/3* من قيمة جهد المرجع V_{CC} بينما يكون *1/3* من جهد المرجع للمقارن رقم *2* . وتبدأ لحظة عمل المؤقت عند بداية تسليط نبضة الإطلاق



شكل (16-3) مؤقت يمكن ضبطه من 0.1 إلى 1 ثانية

على المقارن رقم *2* (قيمة أقل من *1/3* جهد المرجع) . وعندما تتغير حالة تشغيل المقارن رقم *2* نحصل على مخرج من دائرة ثنائى الإستقرار بقيمة أعلى مستوى وفى نفس الوقت يتحول الترانزستور Q_1 إلى الحالة الفصل . وهذا يسمح للمكثف الخارجى C بالشحن لقيمة الجهد V_{CC} خلال المقاومة الخارجية R_A ، وعند وصول جهد المكثف C إلى القيمة *2/3* من جهد المرجع V_{CC} ، تتحول حالة المقارن رقم *1* بحيث تؤدى إلى وصول دائرة ثنائى الإستقرار إلى حالة الإستعادة *(Reset)* وتنخفض قيمة مخرج الشريحة ويتحول Q_1 إلى حالة التوصيل ويفرغ المكثف C الشحنة سريعاً . ويكون مخرج الشريحة عالى فى حالة دورة شحن المكثف فقط ، ونحصل على ذلك عن طريق قيم R_A , C .

ويوضح شكل *(3-18)* الدائرة الكاملة لمكونات الشريحة *555* ، ومنها يتضح أنها تتكون من مجموعة من الترانزستورات من النوعين *NPN , PNP* ، ومقاومات ، وديودات .

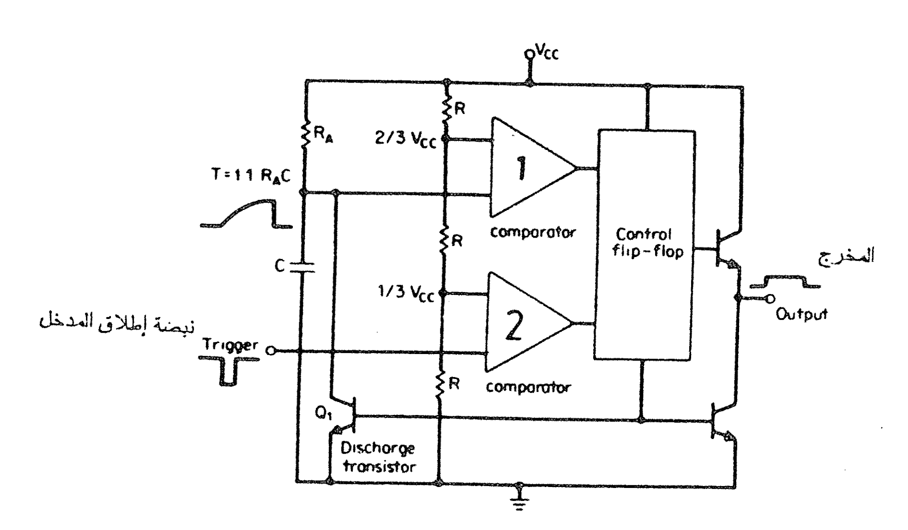
وتمثل الشريحة *555* كما فى شكل *(3-19)*أ حيث يبدأ تحديد وقراءة أطراف الشريحة من يسار الدليل ، وللتبسيط يمكننا تمثيل الشريحة كما فى شكل *(3-19)*ب ، ويلاحظ الآتى :

* يغذى الطرف *8* بجهد المرجع والذى يكون عادة من *5* إلى *15* ڤولت (تيار مستمر)
* يوصل الطرف *1* بالأرضى
* نحصل على المخرج من الطرف *3*

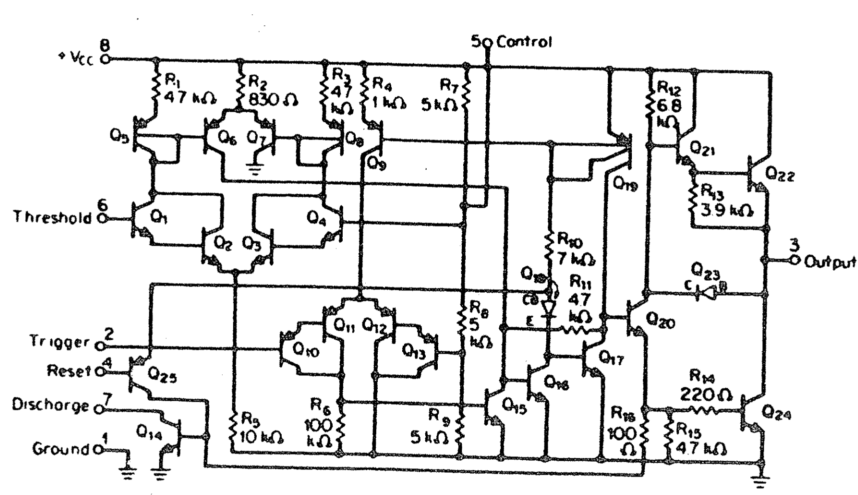
ونوضح فيما يلى بعض إستخدامات الشريحة *555* كمؤقت :

أ) عن طريق توصيل مقاومة R_1 تساوى *100* كيلو أوم ، ومكثف C_1 يساوى *1* ميكروفاراد ، ومكثف C_2 يساوى *0.01* ميكروفاراد كما فى شكل *(3-20)* وعند توصيل المفتاح S_1 نحصل على نبضة من المخرج *3* لفترة زمنية تساوى حوالى *0.1* ثانية .

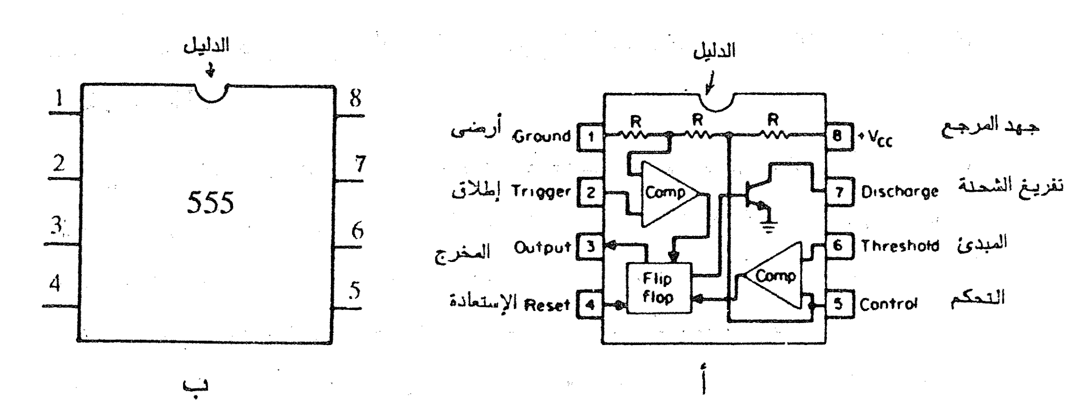
ب) تستخدم الشريحة *555* لتشغيل متمم مساعد *(Auxilliary relay)* بتأخير زمنى معين ، كما فى شكل *(3-21)* حيث يوصل ملف المتمم المساعد (مقاومته تساوى *500* أوم . ويحتاج لتشغيله *6* ڤولت . *12* مللى أمبير) على مخرج الشريحة ،



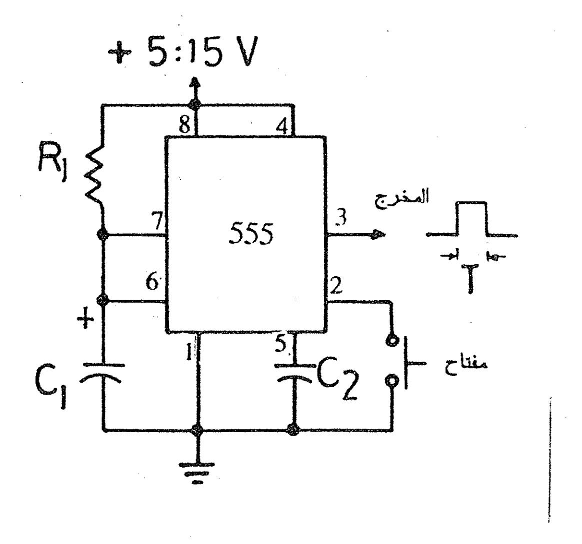
شكل (3-17) مكونات الشريحة 555



شكل (3-18) الدائرة الكاملة لمكونات الشريحة 555



شكل (3-19) تمثيل الشريحة 555



شكل (3-20) دائرة للحصول على نبضة من مخرج الشريحة 555

بتسليط نبضة إطلاق على الطرف 2 وبتغيير المقاومة R_1 نحصل على أزمنة مختلفة وحتى 11 ثانية.

ج) تستخدم الشريحة 555 لإعطاء دلالة مرئية ، كجزء من متمم وقاية ، فمثلاً يعطى إشارة لإضاءة ديود إنبعاث ضوئى *(Light emitting diode)* والذى يرمز له بالرموز *LED* لمدة زمنية معينة ، كما فى الشكل *(3-22)* . وذلك بالتحكم فى تسليط جهد المرجع V_{CC} (عن طريق نقط تلامس فى متمم الوقاية) فنحصل على نبضات المخرج من الشريحة ويكون زمن النبضة 45 ميكروثانية ، أى يضاء الديود الضوئى لفترات زمنية تساوى 45 ميكروثانية .

د) تستخدم الشريحة 555 كمولد موجات مثلثة *(Triangle wave generator)* كما فى شكل *(2-23)* . فعند تغيير المقاومة R_1 نحصل على موجات مثلثة من مخرج الشريحة ذات ترددات مختلفة .

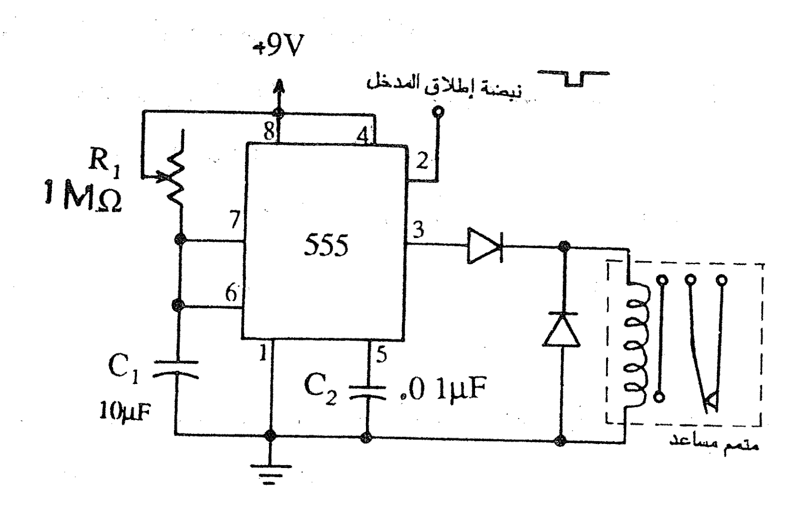
هـ) كدائرة أحادى الإستقرار *(Monostable)* . من الإستخدامات الشائعة للشريحة 555 إستخدامها كدائرة أحادى الإستقرار (أحياناً تسمى بدائرة دفعة واحدة *One-shot*) ، يتم توصيل مقاومة *R* ومكثف *C* ومكثف كمسار جانبى يوصل بين الطرفين 1 , 5 ، كما فى شكل *(3-24)* .

فعند تسليط نبضة الإطلاق *(Trigger)* على المدخل رقم 2 بقيمة أقل من 1/3 جهد المرجع V_{CC} يبدأ المؤقت فى العمل ، ونحصل على مخرج يساوى $(V_{CC} - 1.6)$ ڤولت ، يبدأ المكثف *C* فى الشحن ، وعند الوصول للقيمة 2/3 من جهد المرجع V_{CC} تنتهى دورة الزمن للمؤقت كما هو واضح فى شكل *(3-24)* أ ويصبح المؤقت جاهزاً لإستقبال نبضة إطلاق مدخل جديدة ... وهكذا ...

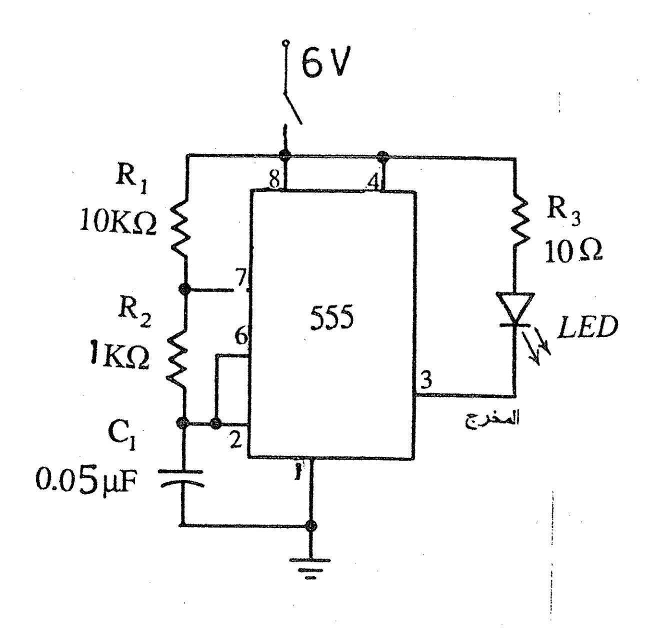
ويمكن معرفة زمن المؤقت *T* كالآتى :

يرتفع الجهد بين طرفى المكثف لوغاريتمياً تبعاً للمعادلة الآتية :

$$V_C = V_{CC} (1 - e^{-t/\tau})$$



شكل (3-21) إستخدام الشريحة 555 لتشغيل متمم مساعد



شكل (3-22) إستخدام الشريحة 555 لإضاءة ديود ضوئى

حيث : τ = ثابت الزمن ويساوى RC

كما يتضح لنا من شكل (3-24)ب أن الزمن T يقابل جهد بين طرفى المكثف يساوى 2/3 الجهد V_{CC} أى أن :

$$V_C = 2/3\, V_{CC} = V_{CC}\,(1 - e^{T/RC})$$

ويمكن حل المعادلة السابقة والحصول على الزمن T رياضياً كالآتى :

$$T = RC\, Ln\, 3 \approx 1.1\, RC$$

وتعتبر هذه المعادلة هى المعادلة الأساسية للحصول على الزمن بإستخدام الشريحة 555 لدائرة أحادى الإستقرار .

كما يمكن الحصول على أزمنة مختلفة بإستخدام القيم التالية :

$$R = 10\, K\Omega \;:\; 14\, M\Omega$$

$$C = 100\, PF \;:\; 1000\, \mu F$$

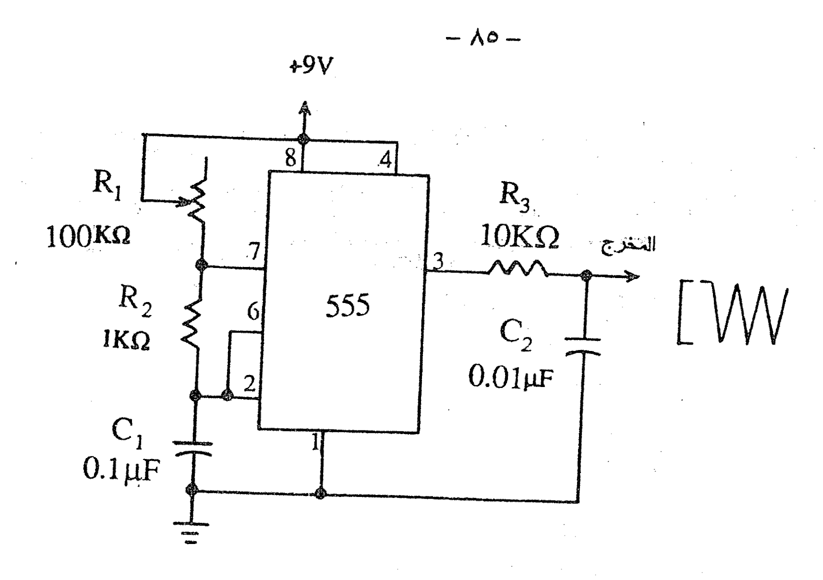
بأخذ قيمة R تساوى واحد ميجا أوم ، C تساوى واحد ميكروفاراد .

نحصل على زمن T يساوى تقريباً 1.1 ثانية .

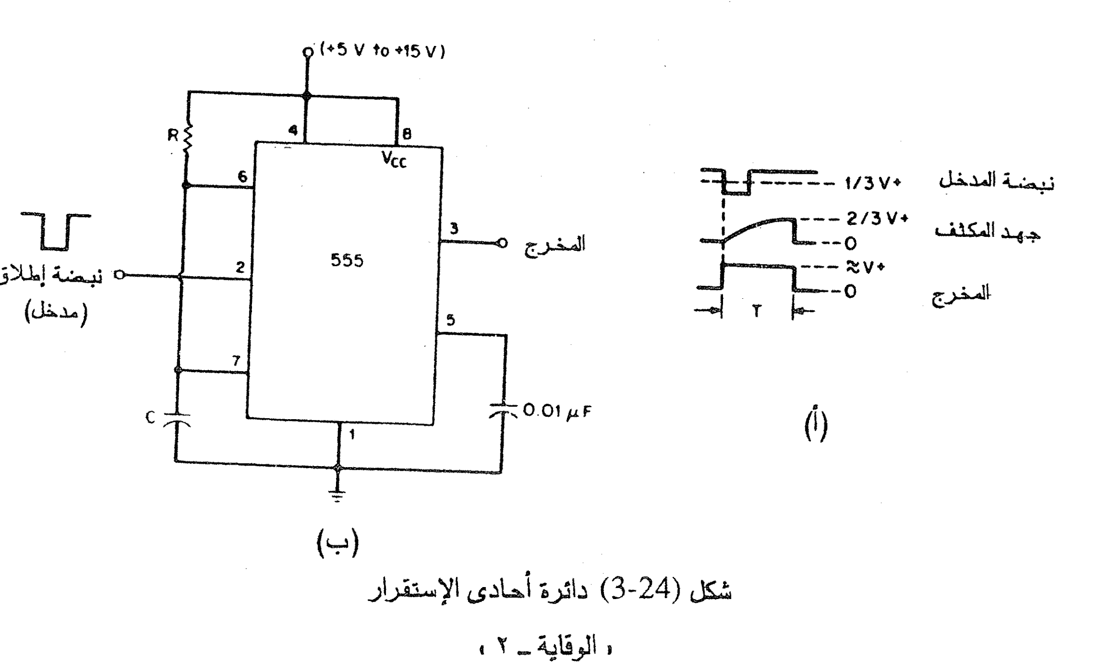
و) كدائرة عدم الإستقرار (Astable) . عند إضافة المقاومتين R_A , R_B ومكثف C للشريحة 555 كما فى شكل (3-25) نحصل على دائرة عدم الإستقرار ، وهى تختلف عن دائرة أحادى الإستقرار فى عدم تسليط نبضة إطلاق على الطرف (2) ولكن يتم توصيله مع الطرف (6) .

ففى البداية ، يكون الجهد خلال المكثف C منخفض مسبباً إطلاق على الطرف (2) ويقابلها جهد مخرج من الشريحة ويتحول ترانزستور تفريغ الشحنة لحالة الفصل ويرتفع الجهد بين طرفى المكثف من خلال المقاومتين R_A , R_B حتى يصل للقيمة 2/3 من جهد المرجع V_{CC} عند هذه اللحظة تنخفض قيمة المخرج ويتحول ترانزستور تفريغ الشحنة إلى حالة التوصيل .

ويبدأ المكثف فى تفريغ الشحنة (خلال المقاومة R_B والمقاومة المنخفضة



شكل (3-23) إستخدام الشريحة 555 للحصول على موجات مثلثة



شكل (3-24) دائرة أحادى الإستقرار

لترانزستور تفريغ الشحنة) حتى يصل للقيمة $1/3$ من جهد المرجع V_{CC} ، ثم يبدأ المؤقت فى العمل مرة ثانية وهكذا .... وكما هو ملاحظ فى شكل (3-25)أ فإن أزمنة موجة المخرج T , t_1 , t_2 تخضع للمعادلات الآتية :

$$t_1 = 0.693\,(R_A + R_B)\,C$$

$$t_2 = 0.693\,R_B\,C$$

$$T = t_1 + t_2$$

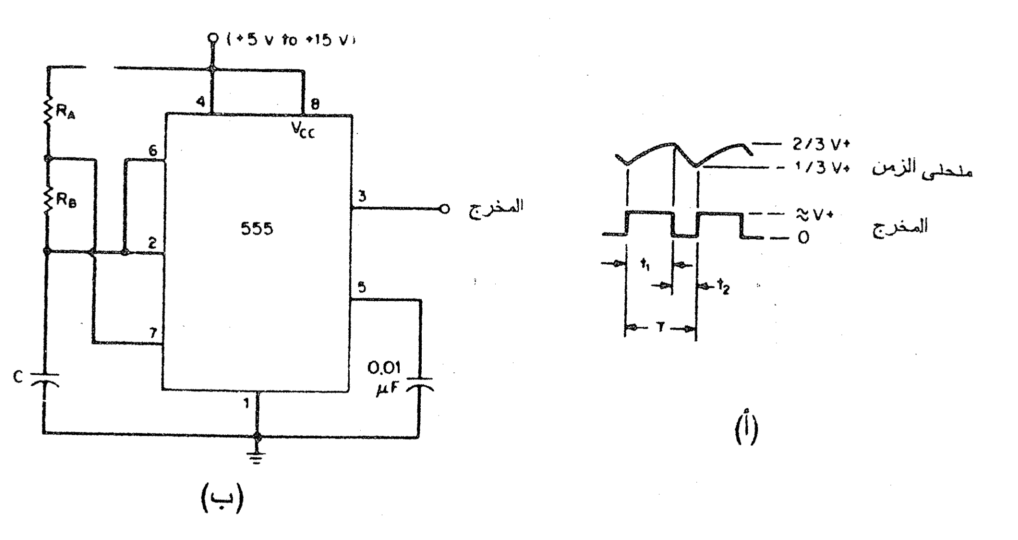
$$T = 0.693\,(R_A + 2R_B)\,C$$

ويطلق أيضاً على هذه الدائرة مولد النبضات *(Pulse generator)* . وبعد إستخدام المؤقت *555* بنجاح ، تم تصنيع شرائح تحتوى على مضاعفات الشريحة *555* ، فمثلاً الشريحة *556* تعرف بالمؤقت الثنائى *(Dual timer)* ويحتوى على شريحتين *555* منفصلتين داخلياً ، وللشريحة عدد *14* طرف كما فى شكل *(3-26)* وتستخدم فى أغراض متعددة أهمها الحصول على مرحلتين للزمن *(Two stage timer)* ولذلك تحتوى على المدخلين *8 , 6* والمخرجين *5 , 9*

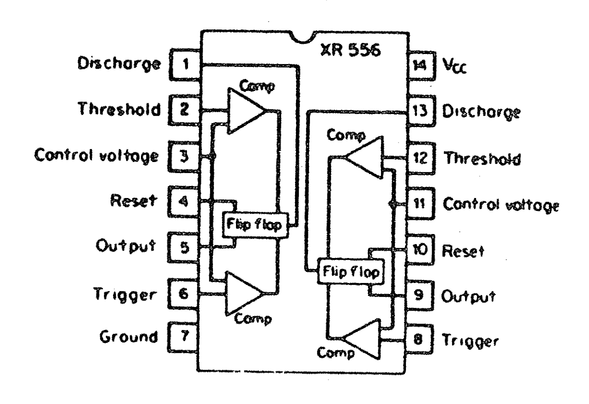
ويوضح شكل *(3-27)* توصيل مؤقت ذو مرحلتين بإستخدام شريحة *556* .

كما توجد شريحة تتكون من أربعة مؤقتات ، تحتوى على أربعة مخارج ونحصل منها على أربعة مراحل للزمن وهى طراز *558/559* والموضحة فى شكل *(3-28)* .

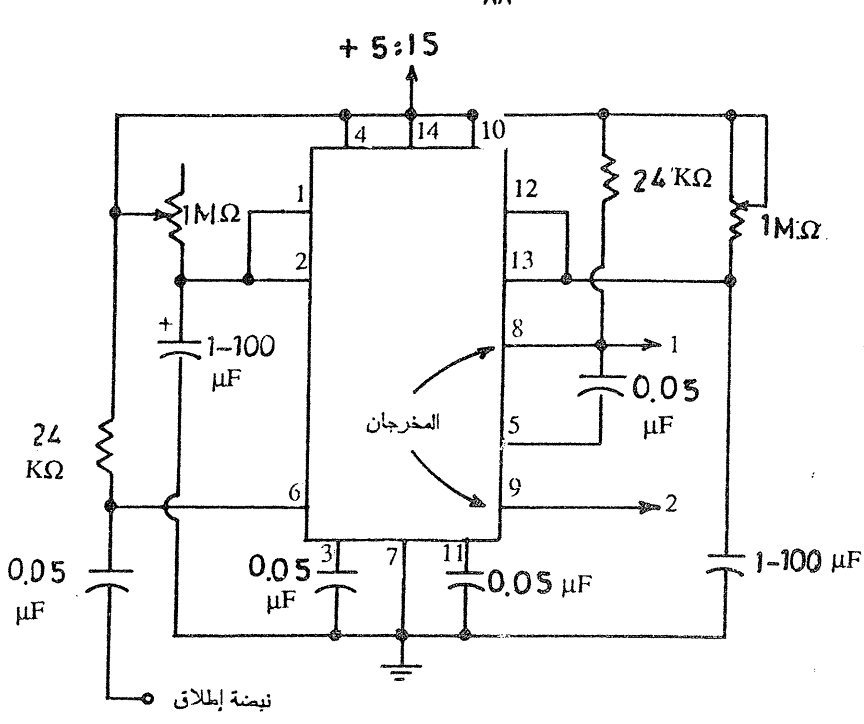
ومن الطرق الشائعة الأخرى ، فى إستخدامات متممات الوقاية ، مؤقتات ذات مراحل متعددة بإستعمال شريحة مؤقت *555* متصلة مع عدد من العدادات *(Counters)*(حسب عدد المراحل المرغوب فيها) على التوالى ، حيث تستخدم سلسلة نبضات ذات تردد عالى ، ويمكن الحصول عليها إما من مذبذب بلورى *(Crystal oscillator)* أو من دائرة عدم الإستقرار *(Astable circuit)* . ويقسم تردد النبضات عن طريق العدادات ، بحيث يعمل العداد التالى بعد تأخير زمنى معين (والذى يكون متناسباً مع التردد) ويوضح شكل *(3-29)* تمثيلاً لهذا النوع ، حيث إستخدمت شريحة مؤقت *555* ثم تتوالى عدادات من نوع الشريحة *7490* . وهذه الشريحة تعرف



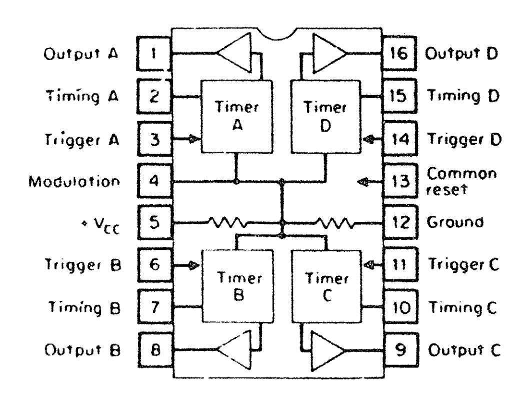
شكل (3-25) دائرة عدم الإستقرار



شكل (3-26) مؤقت ثنائى



شكل (3-27) مؤقت ذو مرحلتين



شكل (3-28) مؤقت ذو أربعة مراحل

بشريحة عداد مضاعفات الرقم عشرة *(Decade counter)* فمثلاً يكون مخرج المؤقت *555* عبارة عن تردد يساوى *1* كيلو هرتز وزمن *0.001* ثانية ، بينما يكون تردد مخرج العداد الأول يساوى *100* هرتز (أى التردد مقسوماً على *10*) والزمن *0.01* ثانية (أى مضروباً فى *10*) هذا المخرج يكون مدخلاً للعداد الثانى والذى نحصل منه على تردد مقسوماً على *10* وزمناً مضروباً فى *10* وهكذا ... حتى نحصل على زمن يساوى *100* ثانية فى آخر مرحلة .

ويوضح شكل *(3-30)* الشريحة *7490* والتى يرمز لها بالرموز *BCD* *(Binary coded decimal)* وهى شائعة لسهولة إستخدامها وإنخفاض سعرها ، وتستخدم فى عمليات القسمة ، أى الحصول على مخرج يساوى المدخل مقسوماً على عدد *N* وذلك عن طريق عمل كبارى لبعض أطرافها والحصول على مخرج من أطراف معينة . فمثلاً للحصول على مخرج يساوى المدخل مقسوماً على *5* ، كما فى شكل *(3-31)*أ يتم عمل كبارى بين الأطراف (الأرجل) *10 ,7 ,6 ,3 ,2*وتوصيلهم بالأرضى ونحصل على المخرج من الطرف *11*

وتوضح الأشكال (*(3-31)* ب ، ج ، د ، هـ ، و) طرق الحصول على مخرج من الشريحة *7490* يساوى المدخل مقسوماً على *6* أو *7* أو *8* أو *9* أو *10*

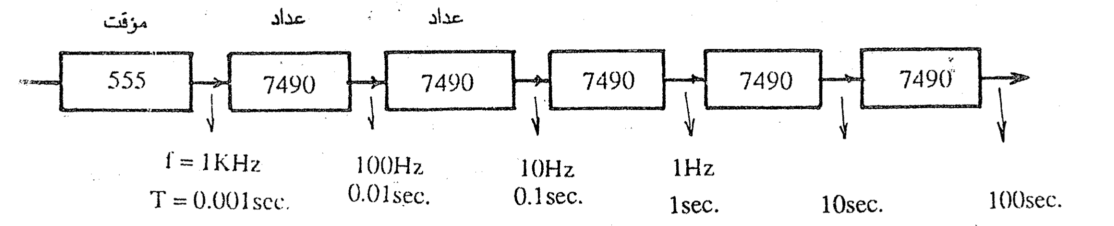
وفيما يلى مثال لمؤقت يمكن الحصول منه على تأخير زمنى حتى *1000* ثانية يعتمد فى تكوينه على دائرة متكاملة خطية *(Linear integrated circuit)* تعطى دقة عالية جداً فى حدود *0.5%*

ويتكون المؤقت ، كما فى شكل *(3-32)*أ ، من :

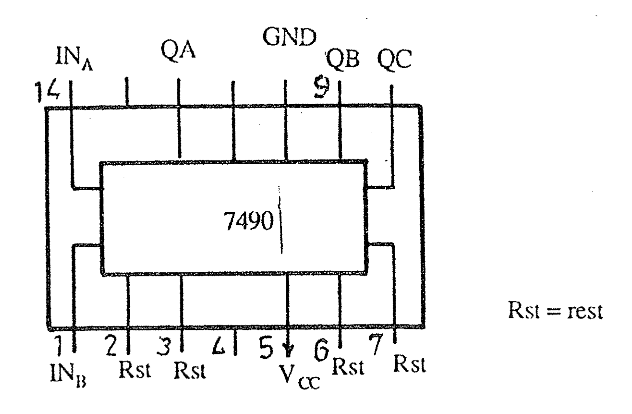
جهد مرجع (*5* ڤولت) ، ودائرة ذبذبات متعددة التوافقيات *(Multivibrator)* ، ومقسم *(Divider)* ، وعنصر مخرج عبارة عن ثيريزتور ومتمم مساعد .

وتكون الدائرة التوضيحية كما فى شكل *(3-32)*ب .

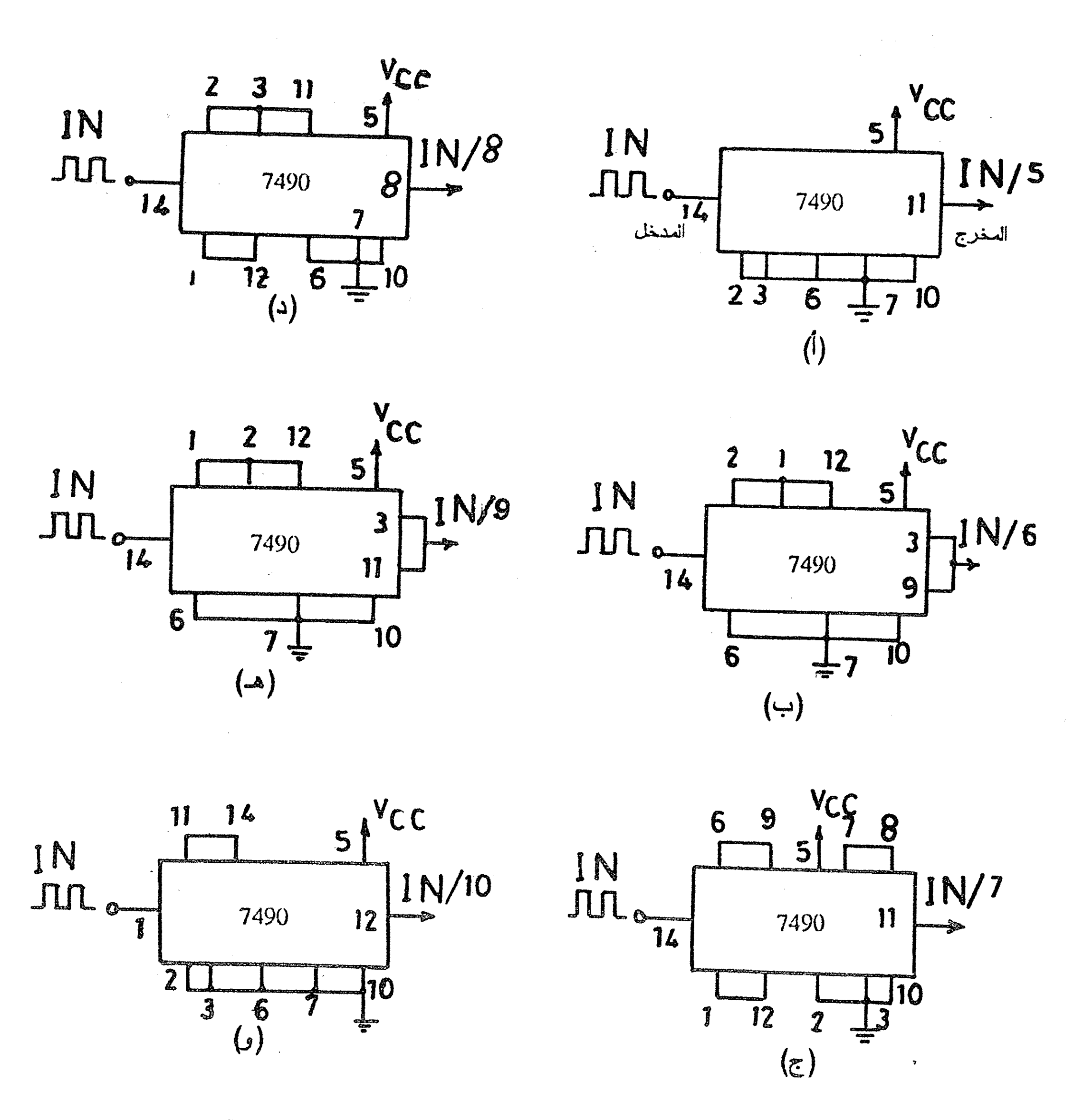
وتعتمد فكرة المؤقت فى الحصول على زمن يساوى ثانيتين من دائرة ذبذبات متعددة التوافقيات وبمرورها على عدادات ثنائية *(Binary counters)* نحصل على



شكل (3-29) مؤقت ذات مراحل متعددة



شكل (3-30) الشريحة 7490



شكل (3-31) طرق الحصول على مخرج من الشريحة 7490

تأخير زمنى أكبر (غالباً لا يوجد حد نهائى لأقصى قيمة تأخير زمنى يمكن الوصول إليها) ، وتغذى الدائرة بمصدر جهد مستمر *220V* ، عن طريق مقسم ومنظم الجهد نحصل على 5- , 0 , 5+ ڤولت ، ومن المكبرات التشغيلية *(Operational amplifiers)* والمقاومة R_1 والمكثف C_1 نحصل على قيمة التأخير الزمنى الأساسى (أى مخرج دائرة الذبذبات متعددة التوافقيات) على شكل نبضات لها تردد معين تستخدم لتغذية العداد B_1 ثم العداد B_2 (ويمكن إضافة عدادين آخرين حسب التأخير الزمنى المطلوب) والتأخير الزمنى الذى نحصل عليه من مخرج العداد الأخير يغذى بوابة الثيريزتور والذى يتحول بدوره إلى حالة التوصيل مؤدياً إلى إشتغال المتمم المساعد .

ويستخدم هذا المؤقت ، عادة ، للحصول على تأخير زمنى لبداية تشغيل التربينة أو المحرك . كذلك فى دوائر التحكم بالصناعة .

وعلى العموم يمكن القول بأن المتمم الزمنى (المؤقت) يتكون من عنصر زمن عبارة عن *R , C* وكاشف مستوى الغرض منه التشغيل الدقيق والسريع بالإضافة إلى عنصر المخرج . ويحتاج تشغيله لمصدر جهد كمرجع . فإذا كان مصدر التغذية تياراً متردداً فإن الموقت يحتاج الى قنطرة توحيد لتحويله إلى تيارمستمر . ويوضح شكل *(3-33)* هذه المكونات .

ومن القيم المثالية لخصائص المؤقت ما يلى :

تدريج الزمن : يعتمد على قيم *C ,R* .

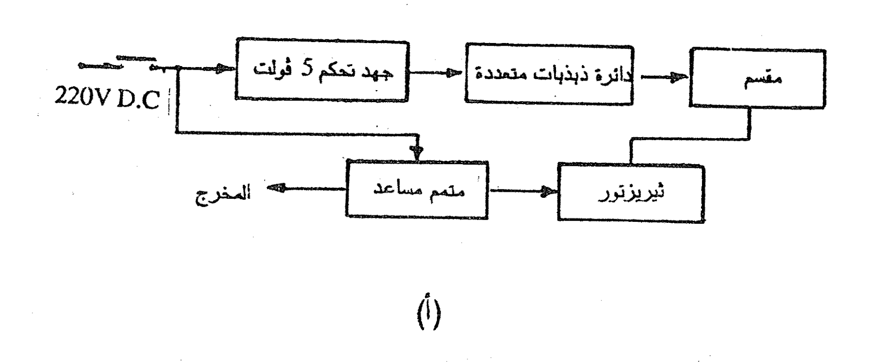
درجة الدقة : أكبر من $\pm 1\%$ من قيمة أقصى ضبط .

زمن الإستعادة : *100* مللى ثانية لجميع قيم الضبط .

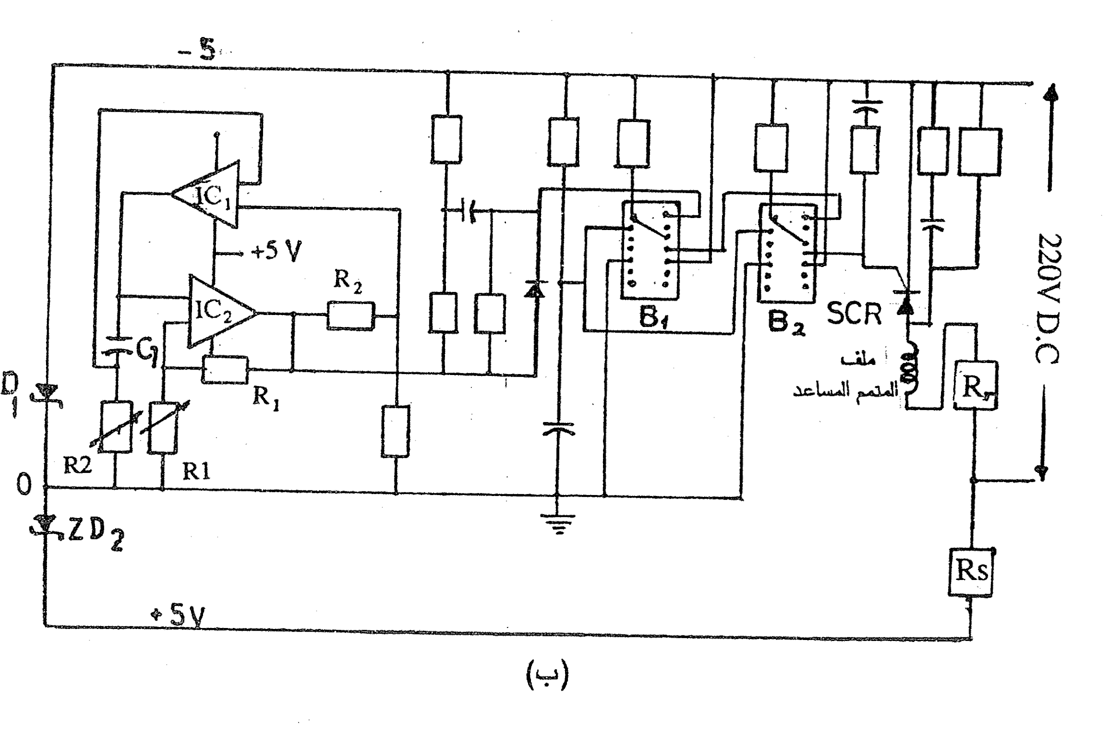
تأثير درجة الحرارة : بحد أقصى $\pm 3\%$ من قيمة أقصى ضبط لحدود التغير فى درجة الحرارة من $5\,^{\circ}C$ إلى $80\,^{\circ}C$

تأثير الجهد : عند الزيارة فى الجهد *10%* ، ينخفض زمن التشغيل بقيمة *0.25%* من قيمة أقصى ضبط . وعند النقص فى الجهد *20%* يزيد زمن التشغيل *0.2%*

مصدر التغذية : *12 - 24 - 36 - 48 - 110 , 220* ڤولت (تيار مستمر) .



(أ)



(ب)

شكل (3-32) مؤقت يمكن الحصول منه على تأخير زمنى حتى 1000 ثانية

يمثـل المؤقـت ذو التأخيـر الزمـنـى المحـدد بطرق متـعـددة ذكرنـا بعضهـا فـى الشكل *(3-34)* وقد تم توضيح معنى كل تمثيل بالشكل .

ويوضح شكل *(3-35)*أ تمثيل لمؤقت يعرف بالمؤقت القياسى *(Standard timer)* وأحياناً يعرف بالمؤقت *4/0* أو *5/0* أو ....

ويعنى الرقم الأعلى *4* أن موجة المخرج تحدث بعد مرور زمن يساوى *4* مللى ثانية من بداية موجة المدخل .

ويعنى الرقم الأسفل *0* أن زمن الإستعادة *(Time delay reset)* يساوى صفراً ، أى أن الزمن بين نهاية موجة المدخل ونهاية موجة المخرج يساوى صفر ثانية .

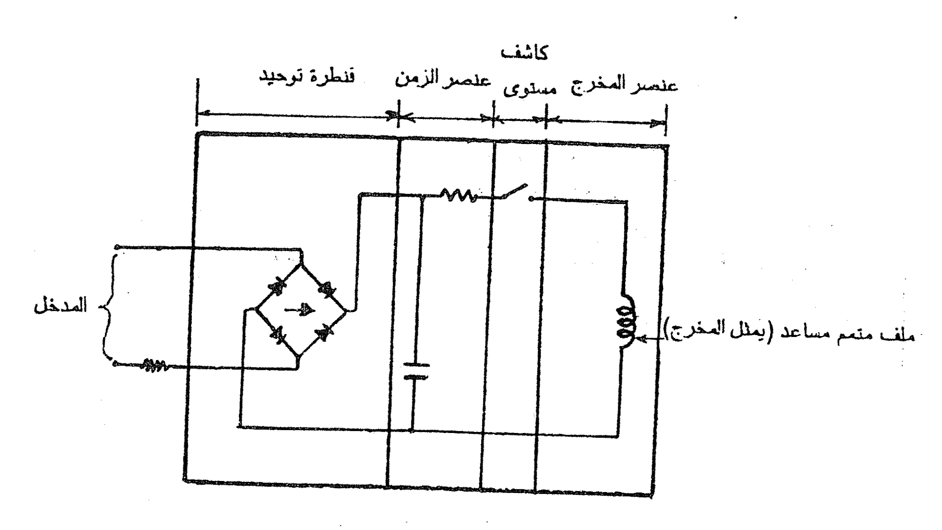
ويوضح شكل *(3-35)*ب موجتى المدخل والمخرج للمؤقت ، حيث نحصل على موجة مخرج إذا إستمرت موجة المدخل *4* مللى ثانية أو أكثر . بينما إذا إستمرت موجة المدخل أقل من *4* مللى ثانية فلن يحدث مخرج من الموقت .

ويوضح شكل *(3-36)*أ نوع مؤقت آخر يعرف بمؤقت قيد الإستعادة *(Inhibit reset timer)* وهو يحتوى على مدخلين : مدخل إطلاق *(Trigger)* ، ومدخل قيد الإستعادة *(Inhibit reset input)* . وحياناً يعرف بالموقت *P/5* أو *P/4* أو ...

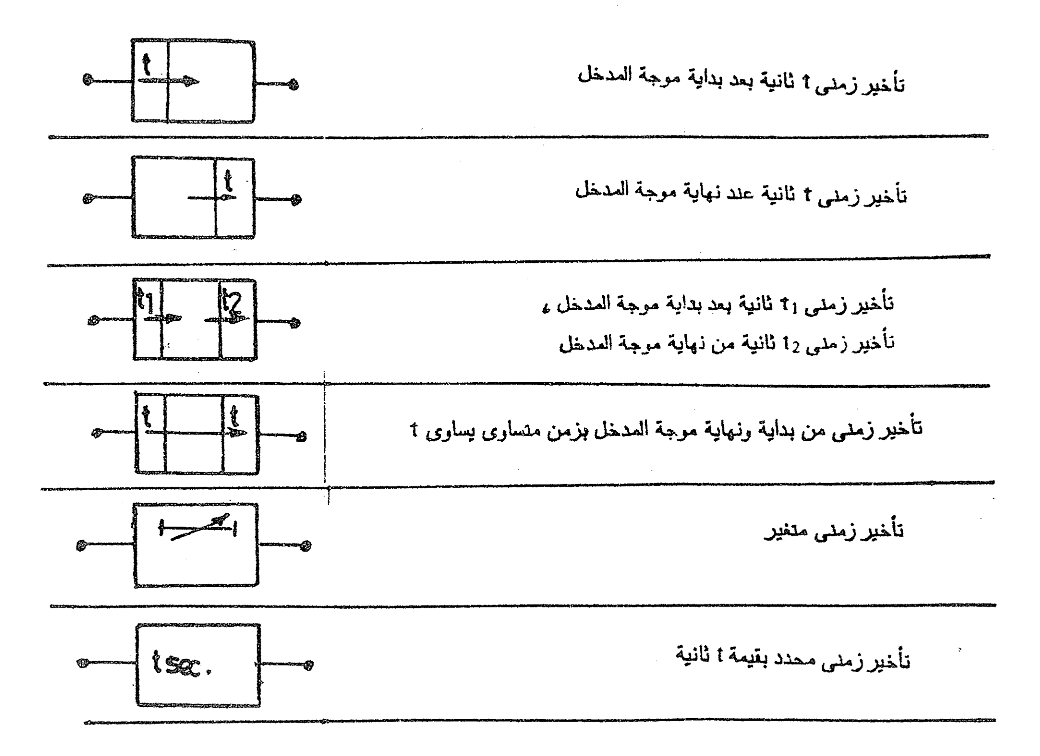
ويعنى الرمز *(P)* أننا نحصل على بداية المخرج مع بداية المدخل لحظياً (*P* تعنى نبضة المدخل *Pulse*) ، وفى حالة عدم وجود مدخل قيد الإستعادة فإن المخرج يستمر *5* مللى ثانية (وهو الرقم الأسفل) بعد نهاية موجة المدخل ، لاحظ الجزء الأول فى شكل *(3-36)*ب . ولو فرضنا أن موجة مدخل قيد الإستعادة بدأت بعد مرور *4* مللى ثانية من نهاية موجة المدخل (الجزء الثانى فى شكل *(3-36)*ب) فإن موجة المخرج تستمر وبعد إنتهائها تستمر موجة المدخل لمدة مللى ثانية واحدة (وهى الفرق بين *5* مللى ثانية ، *4* مللى ثانية) .

توجد أيضاً مؤقتات يمكن الحصول منها على الخاصية العكسية بين كمية المدخل والزمن ونوضح ذلك بالآتى :

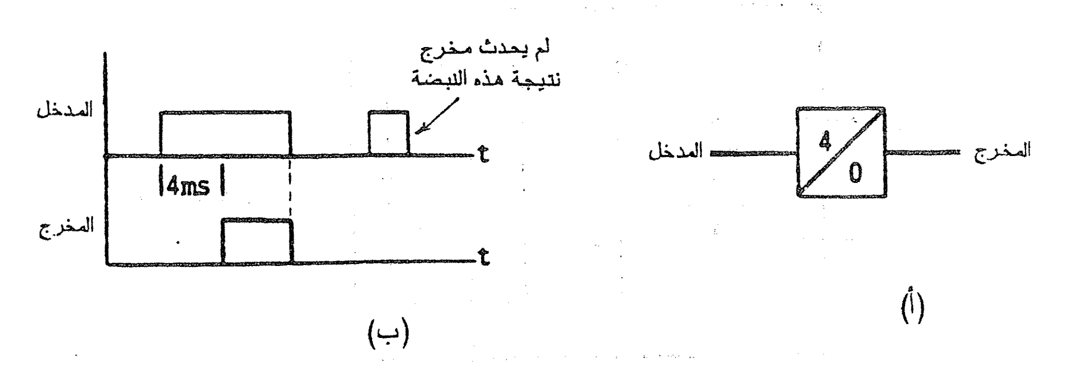
طبقاً للمواصفات العالمية القياسية *BS 145 , BS 142 , IEC 255-4* فإنه توجد



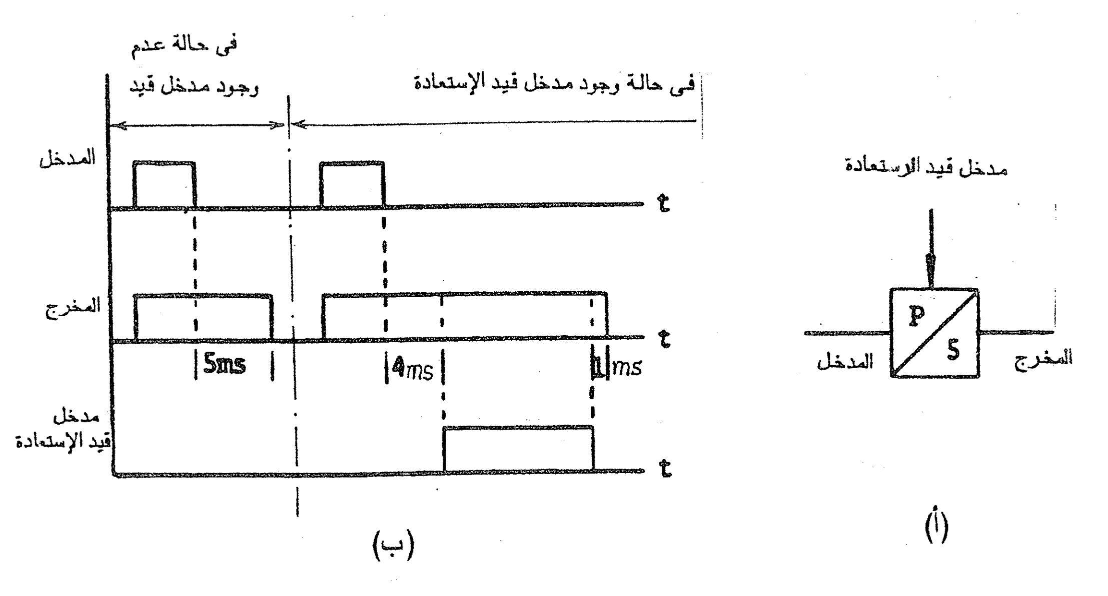
شكل (3-33) تمثيل للمتمم الزمنى



شكل (3-34) تمثيل الأنواع المختلفة للمؤقتات



شكل (3-35) تمثيل المؤقت القياسى



شكل (3-36) تمثيل لمؤقت قيد الإستعادة

ثلاثة مجموعات للمنحنيات العكسية بين المدخل والزمن كما يأتى :

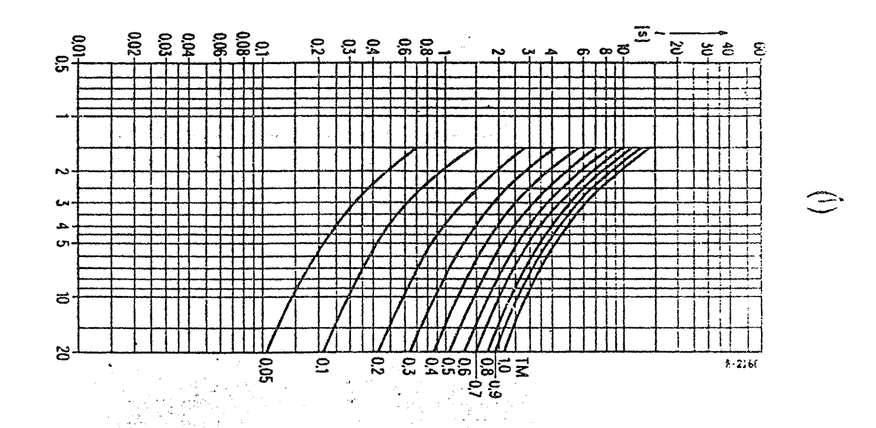
أ) منحنى عكسى *(Inverse)* طبقاً للمواصفات *IEC 255-4 Type-A* كما فى شكل *(3-37)*أ .

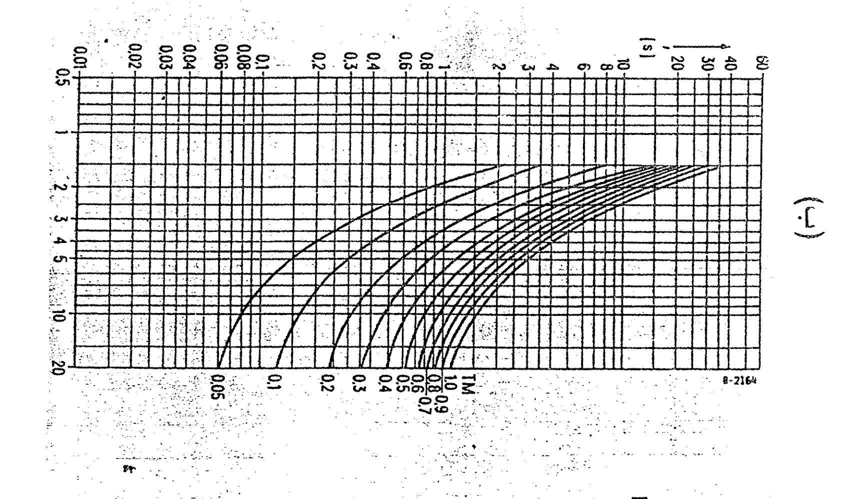
ب) منحنى عكسى جداً *(Very inverse)* طبقاً للمواصفات *IEC 255-4 type-B* كما فى شكل *(3-37)*ب .

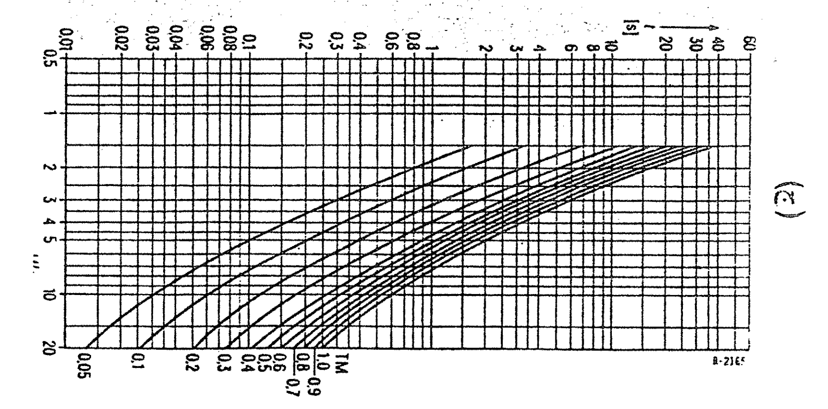
ج) منحنى عكسى متناهى *(Extremely inverse)* طبقاً للمواصفات *IEC 255-4 type-C* كما فى شكل *(3-37)*ج .

وللحصول على منحنى عكسى نستخدم دالة مولد *(Function generator)* وهى عبارة عن مكبر تشغيلى *(Operational amplifier)* وديودات ، وزنيرديود ، ومستويات حياز *(Bias levels)* ، وتغذية خلفية للدائرة ، وبذلك نحصل على خاصية كسب *(Gain)* خطى لمستوى جهد المدخل ، أما إذا لزم الأمر إلى زيادة قيمة خاصية الكسب ، فإنه يتم إضافة مكبر تشغيلى فى التغذية الخلفية للدائرة .

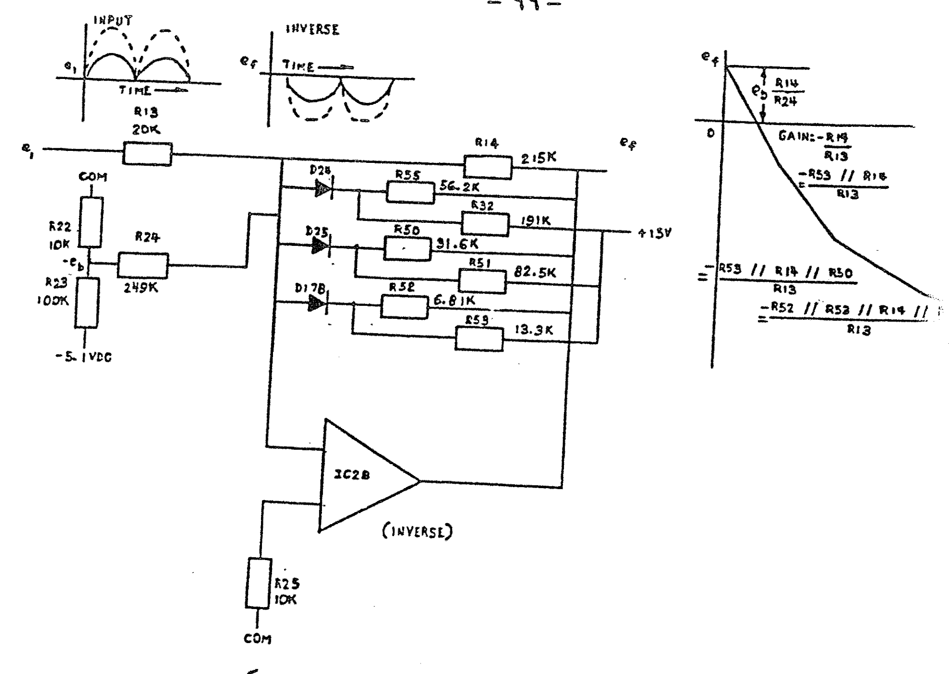
وتوضح الأشكال *(3-40)* , *(3-39)* , *(3-38)* دوائر دالة مولد للحصول على منحنى عكسى أو عكسى جداً أو عكسى متناهى حسب مكون كل دائرة . ويغذى مخرج هذه الدائرة مكامل *(Integrator)* للحصول على علاقة عكسية بين الزمن والمدخل .



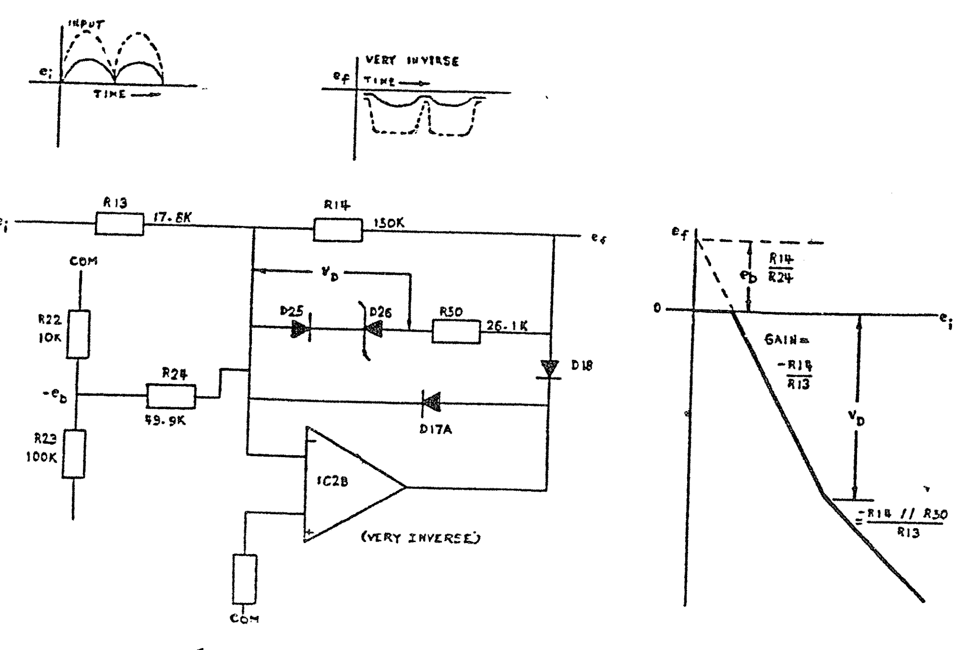




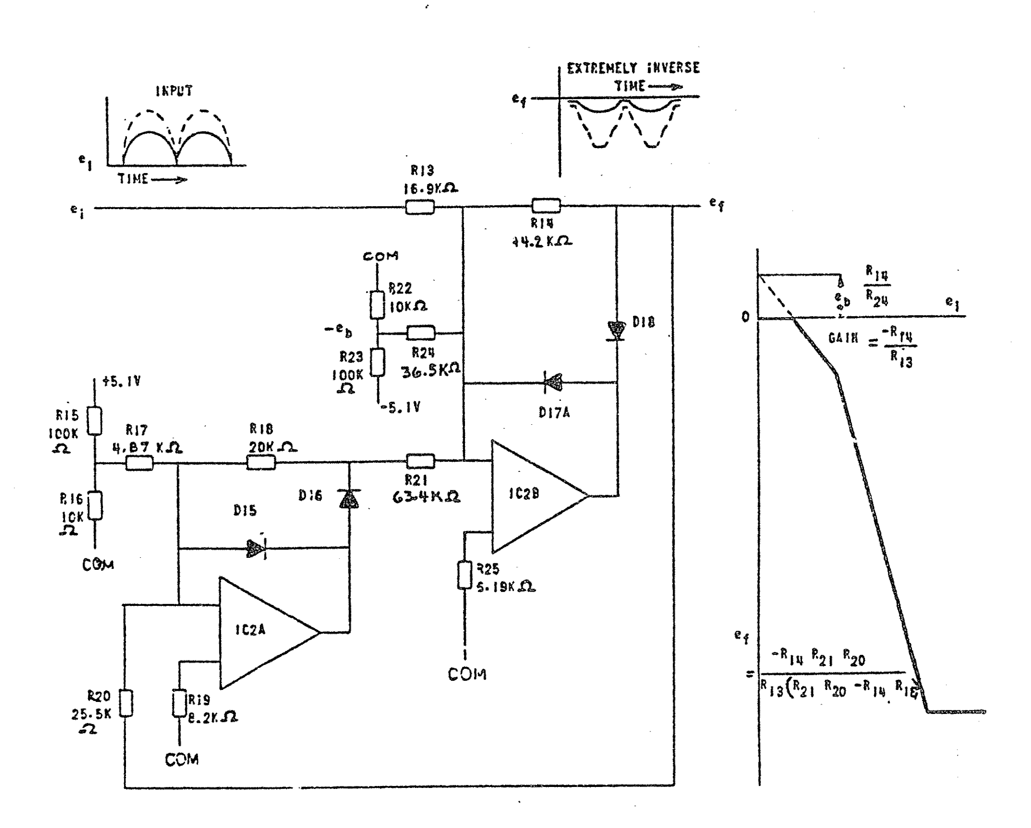
شكل (3-37) المنحنيات العكسية بين الزمن والتيار



شكل (3-38) دائرة دالة مولد للحصول على منحنى عكسى



شكل (3-39) دائرة دالة مولد للحصول على منحنى عكسى جداً



شكل (3-40) دائرة دالة مولد للحصول على منحنى عكسي متناهي

الباب الرابع

الوقاية ضد زيادة التيار

OVERCURRENT PROTECTION

إن المقصود بزيادة التيار هو مرور تيار فى المعدة الكهربائية ، مثل كابل أو محول أو محرك أو ..... ، أكبر من قيمة التيار المقنن والمصمم عنده المعدة الكهربائية ، ومن أمثلة زيادة التيار الآتى

1) عند حدوث عطل على كابل مثلاً ، تكون معاوقة الكابل من مصدر التغذية الكهربية وحتى موضع العطل (وتعرف بمعاوقة العطل *Fault Impedance*) أقل من معاوقة الكابل وحتى موضع المستهلك ،وهذا يؤدى إلى مرور تيار كبير بالكابل (حيث يعرف بتيار القصر *Short circuit current*) والذى يكون أكبر من تيار الحمل العادى .

2) عندما تأخذ الالة تياراً أكبر من التيار المقنن المسموح لها به ، ويعرف هذا التيار عندئذ بتيار زيادة الحمل *(Overloading current)* ، حيث أنه أيضاً أكبر من تيار الحمل العادى .

لذلك تحتاج المعدات الكهربائية لمتممات وقاية كالآتى :

1) وقاية ضد زيادة التيار والذى تكون حدود تشغيله من *1.2* إلى *2* من قيمة التيار المقنن .

2) وقاية ضد تيار القصر والذى تكون حدود تشغيله من *5* إلى *20* مرة من قيمة التيار المقنن .

توجد نبائط مختلفة تستخدم كوقاية ضد زيادة التيار منها :

1) المصهرات *Fuses*

2) قواطع التيار المجهزة بملف زيادة الحمل

3) متممات الوقاية ضد زيادة التيار والتى تغذى من الدوائر الثانوية لمحولات التيار.

ويشترط فى متممات الوقاية ضد زيادة التيار ألا تعمل فى الحالات الاتية :

* أثناء مرور تيارات البداية *(Starting currents)* الناتج عند بداية التشغيل .
* زيادة التيار المسموح به *(Permissible current)* لتشغيل المعدة لزمن محدد .
* أثناء التيارات الفجائية *(Transient currents)* والتى تتعرض لها الشبكات لحظياً.

لذلك تجهز متممات الوقاية بعنصر تأخير زمنى *(Time lag element)* وعنصر لضبط قيمة لحظية عالية *(High - set instantanous)* .

توجد إستخدامات متعددة لمتممات الوقاية عند زيادة التيار منها :

1) وقاية المحركات

تعتبر كوقاية أساسية لملفات العضو الثابت ضد زيادة الحمل وضد حالات القصر ، فمثلاً يستخدم للمحركات ذات القدرات الكبيرة متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى ،بينما للمحركات المتوسطة والصغيرة فيستخدم متمم وقاية حرارى ومصهرات.

2) وقاية المحولات

تستخدم المصهرات كوقاية ضد زيادة التيار لمحولات التوزيع حتى *1000* ك.ف.أ ، بينما تستخدم متممات الوقاية ضد زيادة التيار لمحولات القدرة وتعتبر كوقاية لاحقة *(Back up)* .

3) وقاية الكابلات والخطوط

تستخدم لوقاية الكابلات والخطوط ذات الجهود المتوسطة (*11* ك.ف) .

4) وقاية المعدات الكهربائية

مثل الأفران ـ المنشآت الصناعية أو التجارية .... حيث تستخدم كوقاية أساسية .

ويمكن أن تعمل الوقاية ضد زيادة التيار مهما كان إتجاه التيار المار بالمتمم ، بمعنى آخر أن التيار غير محدد الإتجاه ، ويمكن أن يعمل فى إتجاه معين لمرور التيار ويعرف فى هذه الحالة بالوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى .

تصنف أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار من حيث الزمن كالآتى :

1) وقاية ضد زيادة التيار اللحظى

وفى هذه الحالة لا يحتوى المتمم على عنصر تأخير زمنى .

2) وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد

يمكن أن يضبط عنصر التأخيرالزمنى على زمن معين لا يعتمد على قيمة التيار المار بالمتمم .

3) وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى

وفى هذه الحالة تكون العلاقة بين التيار والزمن عكسية ، أى كلما زادت قيمة التيار كلما قل الزمن .

خصائص متممات الوقاية ضد زيادة التيار

تتحدد العلاقة بين التيار والزمن حسب الخواص الآتية :

1) خاصية محددة *Definite characteristic*

فى هذه الخاصية تكون قيمة الزمن ثابتة (وهى القيمة المضبوطة على المتمم) مهما تغيرت قيمة التيار المار بالمتمم .

وتخضع العلاقة بين التيار والزمن للمعادلة الآتية :

$$I^{\circ} t = K$$

$$\therefore t = K = \text{ثابت}$$

حيث I = التيار المار بملف التيار للمتمم (يلاحظ أن $I^{\circ} = 1$)

t = التأخير الزمنى لضبط المتمم

K = ثابت

يوضح شكل $(4\text{-}1)$ العلاقة بين t , I ومعناها أنه عند مرور تيار بالمتمم أقل من القيمة I لا يعمل المتمم بينما يعمل المتمم عند مرور تيار أكبر من أو يساوى I ويعطى إشارة لفصل قاطع التيار بعد تأخير زمنى يساوى t ويمكن إهمال الجزء الأول من

المنحنى نظرياً ، وإعتبار العلاقة بين t , I خط مستقيم . وفى الشكل منحنى عكسى بين t , I للمقارنة مع الخط المستقيم الثابت .

2) خاصية عكسية *Inverse characteristic*

وتخضع العلاقة بين التيار والزمن للمعادلة الآتية :

$$I\,t = K$$

$$\therefore I = \frac{K}{t}$$

فى شكل *(2-4)* ، المنحنى (أ) يوضح العلاقة العكسية بين I , t

3) خاصية عكسية جداً *Very inverse characteristic*

تخضع العلاقة بين التيار والزمن للمعادلة :

$$I^n\,t = K$$

حيث n يتراوح بين 2 إلى 8

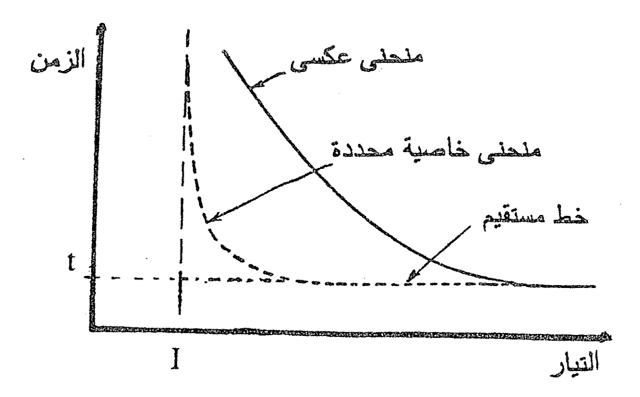
عندما n تساوى 2 أو 3 أو 4 تعرف الخاصية بأنها عكسية جداً ويوضح المنحنى (ب) فى شكل *(2-4)* هذه الخاصية .

بينما عندما n تساوى 6 أو 7 أو 8 .... فإن الخاصية تعرف بأنها خاصية العكسى المتناهى *(Extermely inverse)* ، ويوضح المنحنى (ج) فى شكل *(2-4)* هذه الخاصية ، وكلما زادت قيمة n كان المنحنى عكسياً متناهياً أكثر .

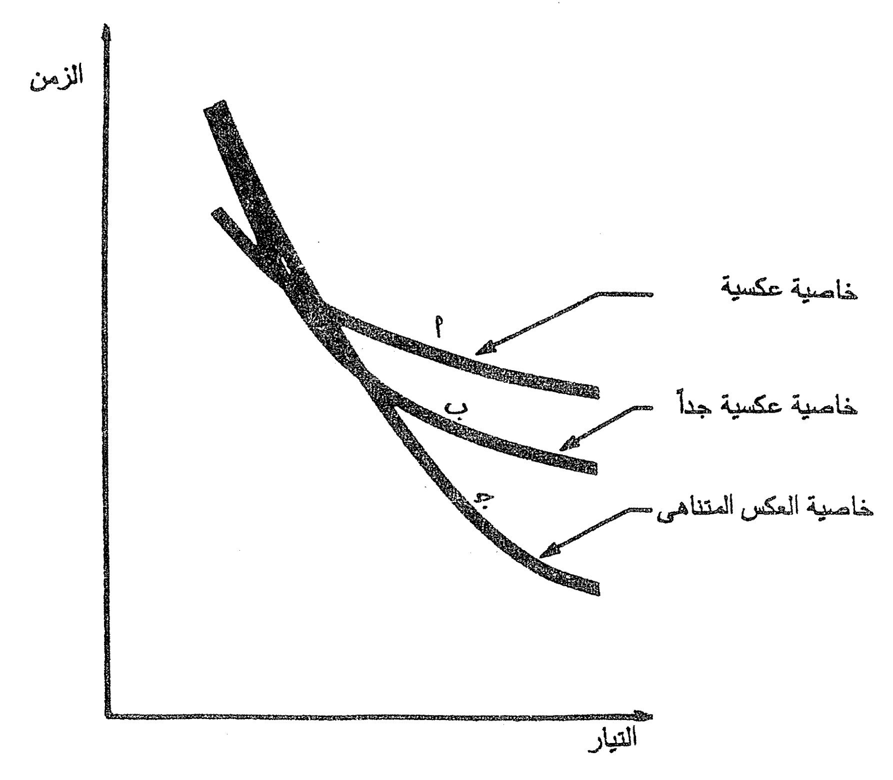
طرق توصيل متممات الوقاية ضد زيادة التيار

يمثل متمم الوقاية ضد زيادة التيار *(Overcurrent relay)* ، ببساطة ، بملف تيار *(Current coil)* ونقطتى تلامس *(Contact)* ، ويصنف إلى :

* متمم وقاية ضد زيادة التيار أحادى الوجه ، والذى يحتوى على ملف تيار واحد ولذا يستخدم ثلاثة متممات للثلاثة أوجه .
* متمم وقاية ضد زيادة التيار ثلاثى الأوجه ، والذى يحتوى على ثلاثة ملفات تيار



شكل (1-4) ملحنى العلاقة بين التيار والزمن



شكل (2-4) الخواص المختلفة للعلاقة العكسية بين التيار والزمن

لثلاثة أوجه .

وفيما يلى الطرق المختلفة لتوصيل متممات الوقاية ضد زيادة التيار مع محولات التيار .

1) توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار على أحد الأوجه

يوضح شكل *(4-3)*أ متمم وقاية يحتوى على ملف تيار يغذى من الملف الثانوى لمحول التيار *(C.T)* ، ونقطتى تلامس ، أحدهما لفصل قاطع التيار والأخرى لإعطاء إنذار *(Alarm)* وذلك عند إشتغال المتمم .

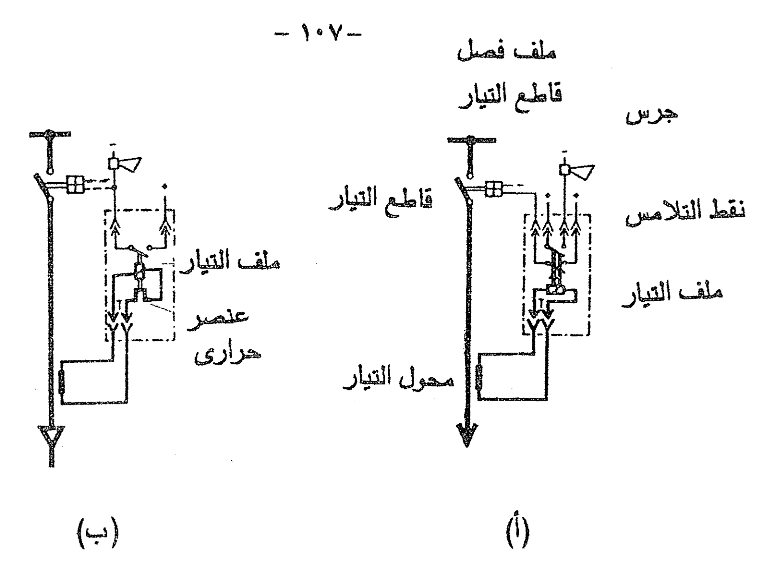
ويوضح شكل *(4-3)*ب متمم وقاية يحتوى على ملف تيار وعنصر حرارى متصلين بالملف الثانوى لمحول التيار *(C.T)* ونقطتى تلامس لإستكمال دائرة ملف فصل قاطع التيار وإعطاء إنذار وذلك عند إشتغال المتمم .

2) توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار على الثلاثة أوجه

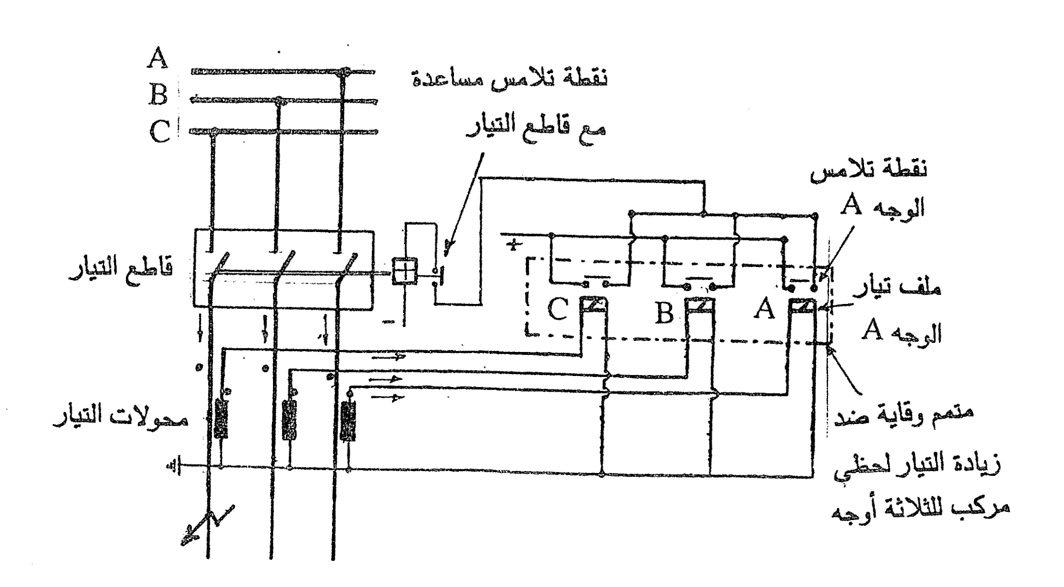
يمكن إستخدام ثلاثة متممات وقاية ، متمم لكل وجه ، أو إستخدام متمم وقاية يحتوى على ثلاثة ملفات تيار ، ملف لكل وجه .

ويوضح شكل *(4-4)* ملف تيار ونقطتى التلامس لكل وجه ، تم توصيلهم على الملفات الثانوية لثلاثة محولات تيار . ويلاحظ أن الملفات الثانوية لمحولات التيار متصلة على شكل نجمة *(Star)* ونقطة التعادل متصلة بالأرض . وتوصل نقطتى التلامس للثلاثة أوجه على التوازى لضمان أن قاطع التيار يفصل عند إشتغال عنصر التيار لأى وجه . ومن مميزات هذه الطريقة أن متمم الوقاية يعمل ويفصل قاطع التيار عند حدوث أى نوع من أنواع القصر ، فمثلاً عند حدوث قصر على الوجه *(A)* عند الموضع *(F)* فإنه يمر تيار كبير فى الكابل يتحول تبعاً لنسبة التحويل إلى تيار كبير بالملف الثانوى لمحول التيار ، وإذا كان أكبر من قيمة ضبط المتمم فإن المتمم يعمل ويقفل نقطتى التلامس ويفصل قاطع التيار .

ويوضح شكل *(4-5)* طريقة توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار يحتوى على مؤقت زمنى *(Timer)* ، وفى هذه الحالة تعمل نقطتى تلامس ملف التيار على إمداد



شكل (3-4) توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار على أحد الأوجه



شكل (4-4) توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار على الثلاثة أوجه

ملف المؤقت بالطاقة ، والذى بدوره يقفل نقطتى تلامس بعد زمن محدد مضبوط على المتمم .

ويلاحظ وجود مؤقت زمنى واحد يعمل عند إشتغال أى عنصر تيار .

3) توصيل متممين وقاية ضد زيادة التيار (أحادى الوجه) مع محولين للتيار :

يوضح شكل *(6-4)* طريقة متممى وقاية (أحادى الوجه) مع محولين تيار ، وله نفس فكرة البند السابق ولكن يعمل فى حالة حدوث أعطال بين أى من الوجهين أو عطل بين الوجه *A* والأرض أو الوجه *C* والأرض ولا يتأثر المتمم عند حدوث قصر على الوجه *B* مع الأرض .

4) توصيل ثلاثة متممات وقاية ضد زيادة التيار مع محولين للتيار:

يضاف متمم وقاية بخط التعادل فى شكل *(6-4)* ليصبح كما فى شكل *(7-4)* ويكون التيار المار به هو محصلة الجمع الاتجاهى للتيارين بالوجهين *A , C* وهذا يؤدى الى عمل المتمم مع أغلب الأعطال .

الوقاية ضد الأعطال الأرضية وطرق توصيلها

Ground Fault Protection and Connection

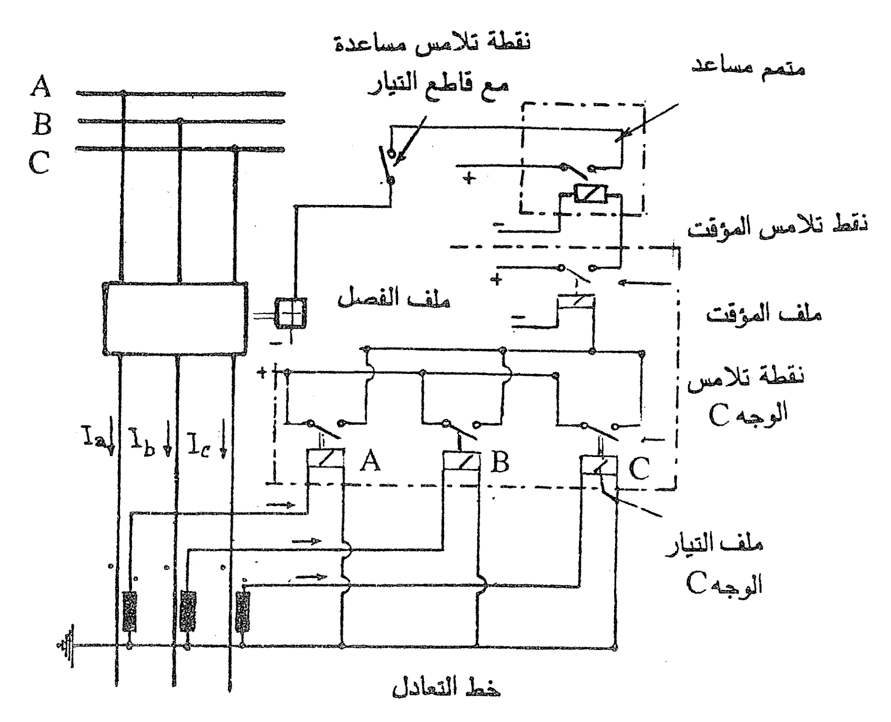
إذا مر تيار القصر خلال الأرض كمسار لرجوع التيار فإن العطل فى هذه الحالة يعرف بالعطل الأرضى (بينما الأعطال الأخرى والتى لا تحتاج إلى الأرض كمسار تعرف بأعطال الأوجه *Phase Faults*) ويكون متمم الوقاية الذى يعمل نتيجة مرور تيار بالأرضى هو متمم ضد الأعطال الأرضية .

وفيما يلى الطرق المختلفة لتوصيل متمم الوقاية ضد الأعطال الأرضية مع محولات التيار .

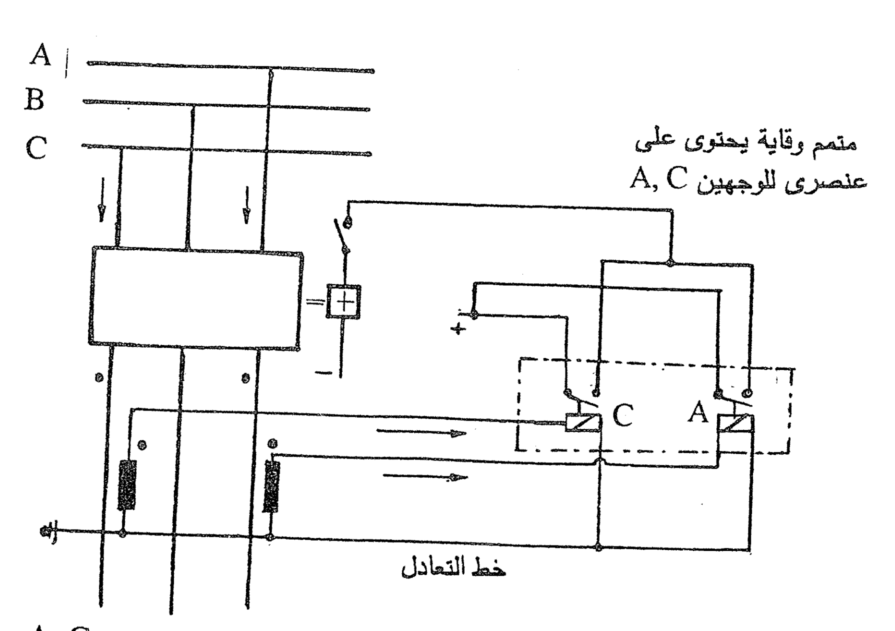
1) توصيل متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية المتبقية

Residually Connected Earth Fault Relay

فى هذه الحالة توصل الملفات الثانوية لمحولات التيار للثلاثة أوجه على التوازى



شكل (5-4) توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار يحتوى على مؤقت



شكل (6-4) توصيل متممين وقاية ضد زيادة التيار على الوجهين A, C

(كما فى شكل *(4-8)* مع ملف تيار متمم الوقاية ضد الأعطال الأرضية .

ويكون التيار المار بملف المتمم مساوياً للمجموع الإتجاهى للتيارات المارة بالثلاثة أوجه ويعرف بالتيار المتبقى *(Residual current)* ويرمز له بالرموز I_{RS} ويخضع للمعادلة الآتية :

$$\overline{I_{RS}} = \overline{I_{as}} + \overline{I_{bs}} + \overline{I_{cs}}$$

فى حالة التشغيل العادى تكون التيارات I_{as} , I_{bs} , I_{cs} متسارية فى الثلاثة أوجه وبالتالى يكون I_{RS} مساوياً للصفر وبالتالى لا يمر تيار بملف المتمم ، أى لا يشتغل المتمم .

فى حالة حدوث قصر فإن التيارات بالثلاثة أوجه تكون غير متساوية ، تبعاً لنوع القصر ، وبالتالى فإن التيار I_{RS} لا يساوى الصفر ، ويمر بملف المتمم مؤدياً إلى إشتغال المتمم . ولا يعتمد إشتغال المتمم على إتجاه التيار I_{RS}

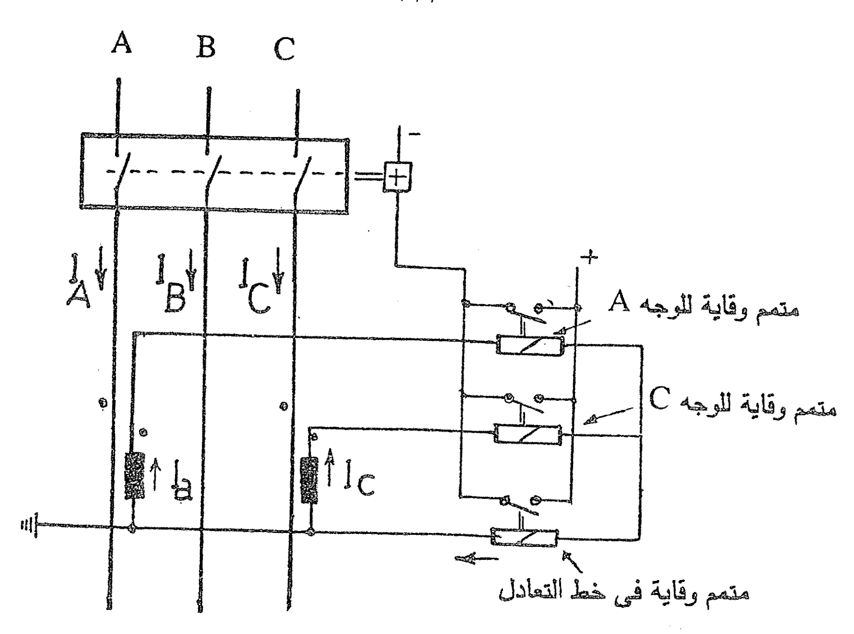
2) توصيل متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية بخط التعادل

Earth Fault Relay Connected in Neutral

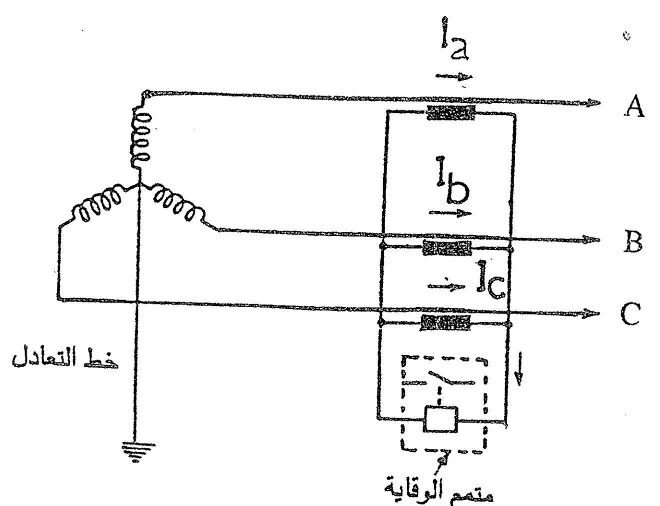
فى هذه الطريقة يوصل محول تيار بخط التعادل المؤرض للنظام (ملفات مولد أو محول متصل نجمة) ويوصل ملف المتمم بالملف الثانوى لمحول التيار ، كما فى شكل *(4-9)* فى حالة التشغيل العادى وتوازن التيارات بالثلاثة أوجه فلا يمر تيار بخط التعادل ، بينما فى حالة حدوث قصر أرضى (أو حالة عدم توازن) فإنه يمر تيار القصر بخط التعادل مؤدياً إلى إشتغال متمم الوقاية .

ويعتمد القصر الأرضى على نوع تأريض النظام *(Earthing system)* (تأريض من خلال مقاومة أو ممانعة أو تأريض مباشر مع الأرض) وكذلك يعتمد على مكان حدوث القصر .

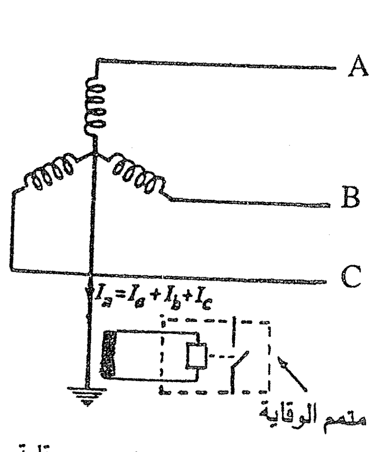
أحياناً يستخدم محول جهد بدلاً من محول التيار المستخدم بخط التعادل ويتم توصيل الملف الثانوى له على متمم جهد بدلاً من متمم التيار وسيتم توضيح هذا عند التعرض لوقاية المولدات .



شكل (7-4) توصيل ثلاثة متممات وقاية ضد زيادة التيار للوجهين A, C وبخط التعادل



شكل (8-4) توصيل متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية المتبقية



شكل (9-4) توصيل متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية بخط التعادل

3) توصيل متمم وقاية ضد أعطال الأوجه والأعطال الأرضية

Combined Earth Fualt and Phase Fualt Connection

من الدوائر شائعة الإستخدام توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار للأوجه الثلاثة بالإضافة الى متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية ، كما هو واضح بشكل *(4-10)* . حيث توصل الملفات الثانوية لمحولات التيار على شكل نجمة *(Star)* ، وتوصيل ملف متمم الوقاية ضد الأعطال الأرضية على خط التعادل للتوصيلة نجمة . ويكون التيار المار بمتمم الأعطال الأرضية هو محصلة التيارات المارة بالثلاثة أوجه ، أى :

$$\overline{I}_{RS} = \overline{i}_{as} + \overline{i}_{bs} + \overline{i}_{cs}$$

وكما ذكرنا سابقاً فيعرف I_{RS} بأنه التيار المتبقى .

ويمكن إستخدام متممين للوقاية ضد زيادة التيار للوجهين A , C فقط وفى حالة وجود متمم ضد الأعطال الأرضية تتحقق نفس الدقة لجميع حالات الأعطال .

4) توصيل متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية من خلال محول تيار إتزان :

Earth Fualt Relay With Core Balance Current Transformer

محول تيار الإتزان هو محول حلقى يمر خلاله ، ثلاثة كابلات أحادية ، كما فى شكل *(4-11)* أو كابل ثلاثى الأوجه . ويغذى ملف التيار لمتمم وقاية ضد الأعطال الأرضية . ويصمم محول الإتزان الحلقى بحيث لا يكون هناك تشبع عند حدوث قصر ، وفى حالة التشغيل العادى تتوازن مركبات الفيض المغناطيسى الناتج من المجال بالموصلات الثلاثة ويهمل التيار الثانوى الحادث ، وعند حدوث قصر أرضى ، فإن مركبات الفيض المغناطيسى ϕ_a , ϕ_b , ϕ_c للثلاثة أوجه (نتيجة التيارات I_a , I_b , I_c) تصبح غير متوازنة وتكون المحصلة :

$$\overline{\phi}_r = \overline{\phi}_a + \overline{\phi}_b + \overline{\phi}_c$$

$$= K(\overline{I}_a + \overline{I}_b + \overline{I}_c)$$

وفى حالة حدوث قصر بين وجه والأرض فإن :

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = 3\bar{I}_o = \bar{I}_n$$

حيث I_n التيار المار بخط التعادل

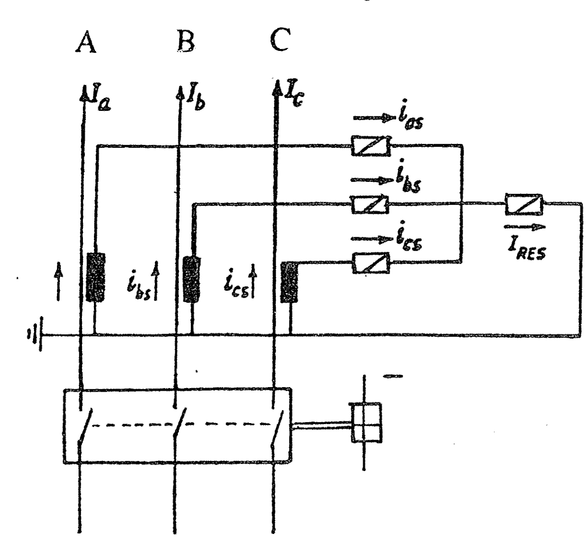
I_o مركبة التتابعية الصفرية للتيار *(Zero sequence current)*

وبذلك يحدث فيض مغناطيسى ϕ_r ، كنتيجة لمركبة التتابعية الصفرية للتيار مسبباً تيار بالملف الثانوى لمحول التيار وبالتالى إشتغال المتمم .

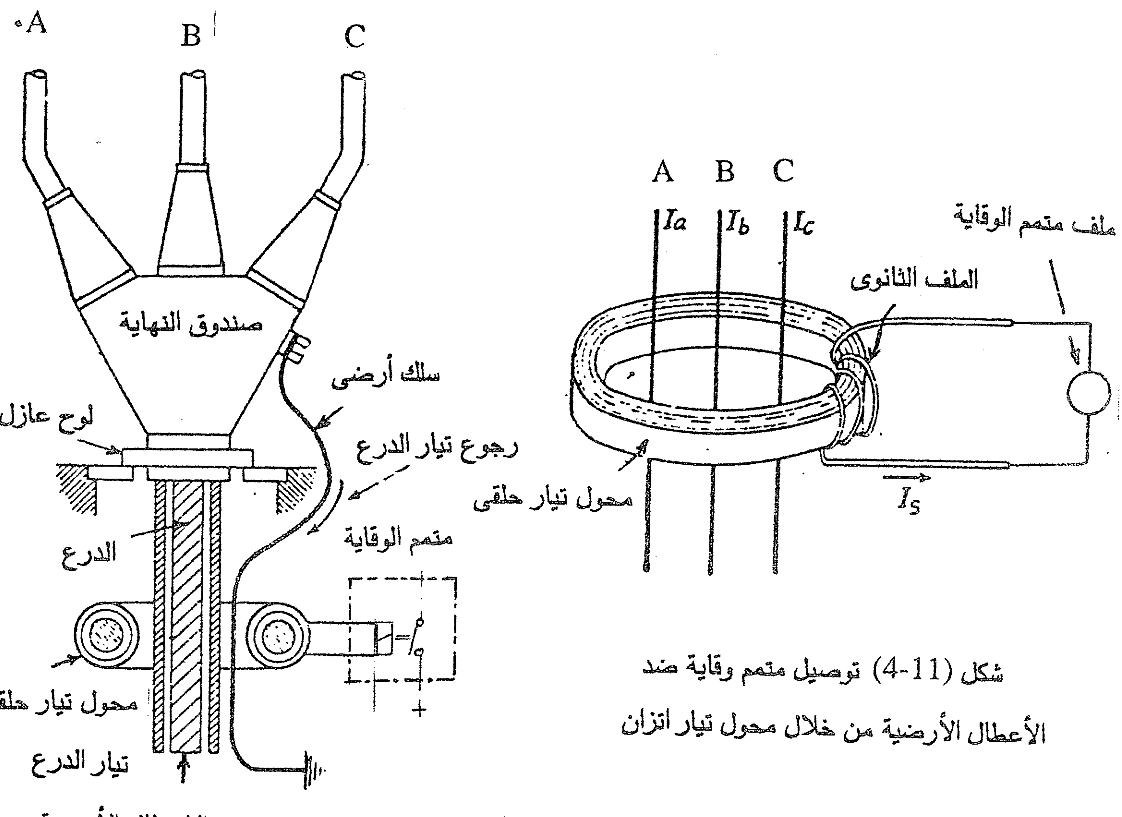
ولذلك يعرف هذا المحول بمحول تيارمركبة التتابعية الصفرية *(Zero sequence current transformer)*

عند إستخدام محول تيار إتزان مع كابل ثلاثى الاوجه ، يتم إدخال محول التيار بالكابل أولاً قبل عمل صندوق نهاية الكابل *(Terminal box)* ، كما فى شكل *(4-12)* وعند إستخدام هذه الطريقة يجب توصيل طرف موصل بين جسم صندوق نهاية الكابل والأرض ماراً بمحول تيار الإتزان وذلك للتخلص من التيار المار فى تسليح (أو درع) الكابل ، كذلك يجب عزل صندوق نهاية الكابل عن الأرض عن طريق وضع لوح عازل .

من المعلوم أن تأريض جميع الخلايا المعدنية المحتوية على المعدات الكهربائية (الحاملة للجهود) ضرورى ، وذلك لحماية الخلايا ضد التسرب الأرضى ، وعادة تكون الخلايا مثبتة على أساسات خرسانية ورغم كون صناديق نهاية الكابلات معزولة عن الأرض فيجب تأريض جميع مكونات الخلايا بموصل خاص إلى الأرضى العمومى . ويمكن إستخدام متمم وقاية ضد التسرب الأرضى يغذى من خلال محول تيار يركب كما فى شكل *(4-13)* ، وعند حدوث تسرب أرضى يشتغل المتمم ويعطى إنذراً *(Alarm)* بحدوث التسرب .



شكل (10-4) توصيل متمم وقاية ضد أعطال الأوجه والأعطال الأرضية

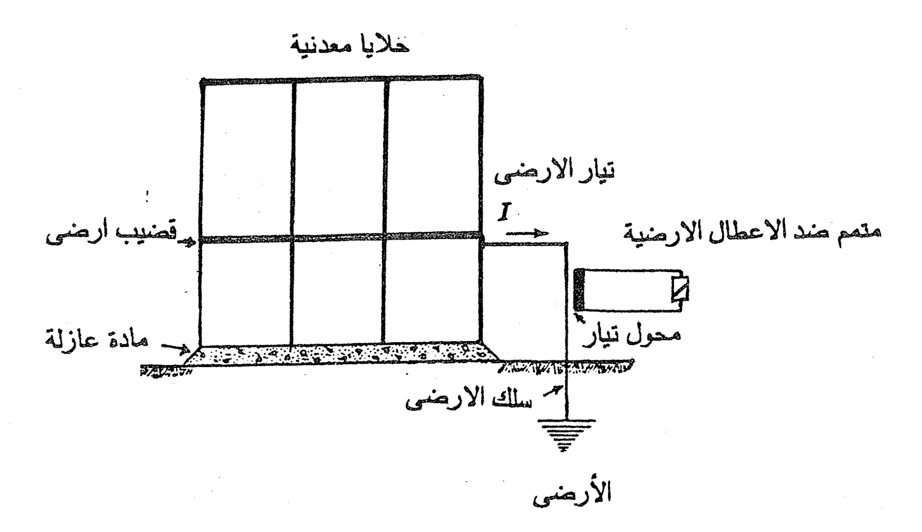


شكل (11-4) توصيل متمم وقاية ضد

الأعطال الأرضية من خلال محول تيار اتزان

شكل (12-4) توصيل متمم وقاية ضد الاعطال الأرضية

من خلال محول تيار اتزان وكابل ثلاثى الأوجه



شكل (13-4) توصيل متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية بخلايا معدنية

متممات الوقاية ضد زيادة التيار الكهرومغناطيسية

يمكن تصنيف متممات الوقاية ضد زيادة التيار الكهرومغناطيسية إلى متممات وقاية إبتدائية ، والتى تركب مباشرة على الخط أى ليست من خلال محولات تيار ، ومتممات وقاية ثانوية والتى تتغذى من الملف الثانوى لمحول التيار .

وفيما يلى توضيح لكل نوع :

1) **متممات الوقاية الإبتدائية** *Primary Relays*

هذه المتممات عبارة عن ملف تيار يتصل على التوالى مع الخط ويمر به التيار الابتدائى *(Primary current)* ويتحمل جهد المعدة المركب لحمايتها ، حيث تنقل طاقة رافعة *(Lever)* المتمم الحركة الميكانيكية لقاطع التيار مسببة فصله .

ويوضح شكل *(4-14)* أ متمم وقاية ضد زيادة التيار الابتدائى ذو زمن محدد ـ ألمانى الصنع ـ ويحتوى على :

* وسيلة ضبط التيار من *1.2* إلى *2* من قيمة التيار المقنن وهو *150* أمبير .
* وسيلة ضبط الزمن من صفر إلى *6* ثوانى .
* حدود قياس الحمل .

يمكن فى بعض الأحوال إضافة عنصر ضد تيارالقصر اللحظى والذى يوصل على نفس ذراع الحركة المنقولة إلى قاطع التيار .

ويوضح شكل *(4-14)*ب مكان تركيب ثلاثة متممات للأوجه الثلاثة لقاطع تيار يعمل بإندفاع الهواء *(Airblast circuit breater)* ويوضح الشكل إتصال رافعة الفصل *(Tripping lever)* للمتمم بالحركة الميكانيكية لقاطع التيار .

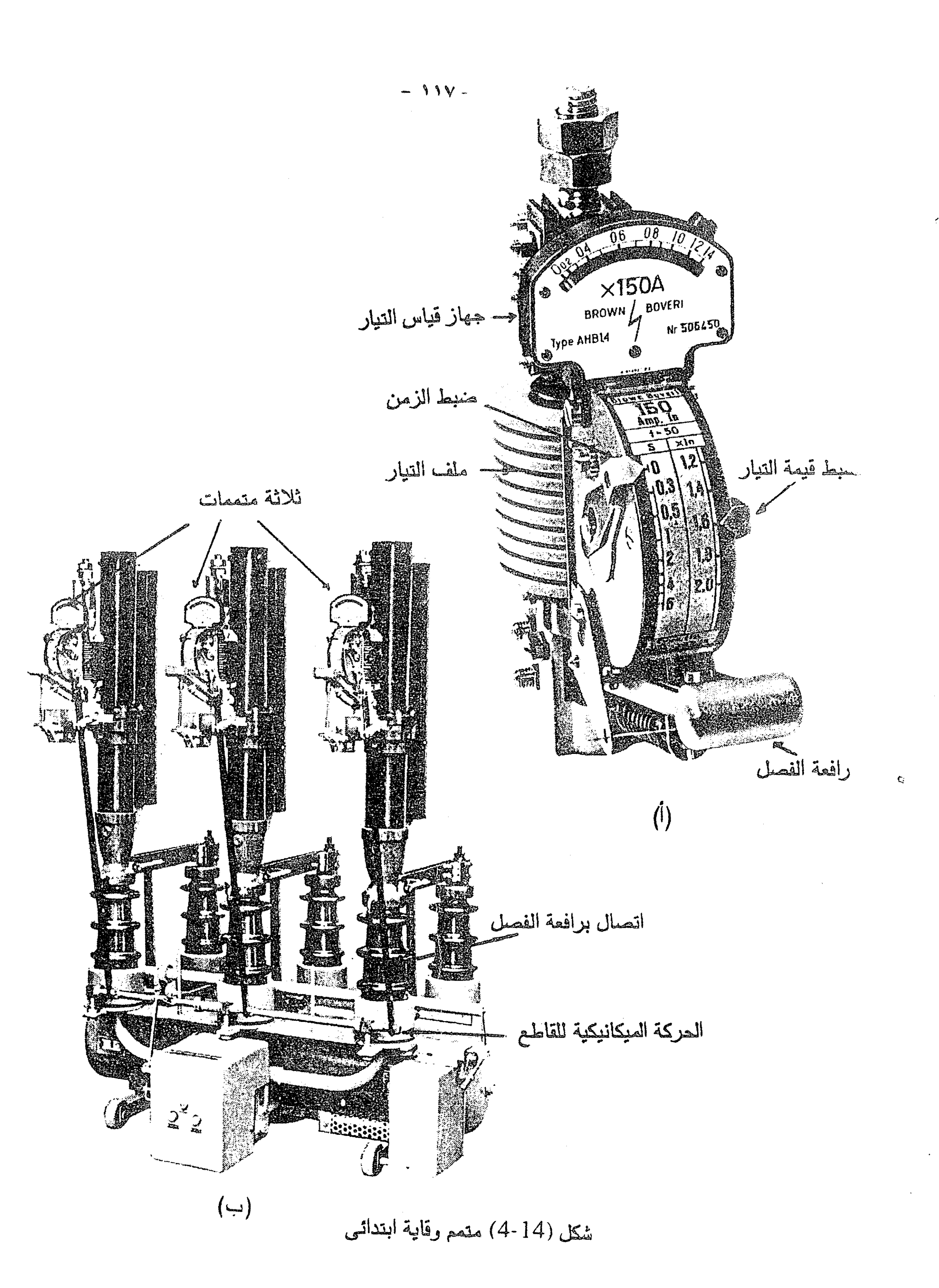
وقد يكون المتمم الابتدائى من النوع الحرارى لإستخدامه على سبيل المثال لوقاية المحركات ومن أمثلته المتمم الموضح بشكل *(4-15)*أ والذى يتكون من ملف تيار يوصل على التوالى مع الخط ويمر به التيار الإبتدائى للمعدة ، ويحتوى القلب الحديدى على ثغرتين هوائيتين وبواسطة مسمار محوى يمكن التحكم فيهما بالإضافة إلى تغيير عدد لفات الملف يمكن الحصول على الضبط المناسب للمتمم ، كما يحتوى القلب على ملف دائرة قصر *(Short circuit winding)* تؤدى إلى تسخين إزدواج معدنى *(Bimetal)* لقياس درجة الحرارة ، والذى يتصل بمقياس إرتفاع درجة الحرارة وبرافعة الفصل للمتمم .

يوضح شكل *(4-15)*ب وضع تركيب متمم الوقاية الحرارى بقاطع التيار ، وكيف تتصل رافعة الفصل للمتمم بالحركة الميكانيكية لقاطع التيار من خلال ذراع معزول *(Insulated rod)* .

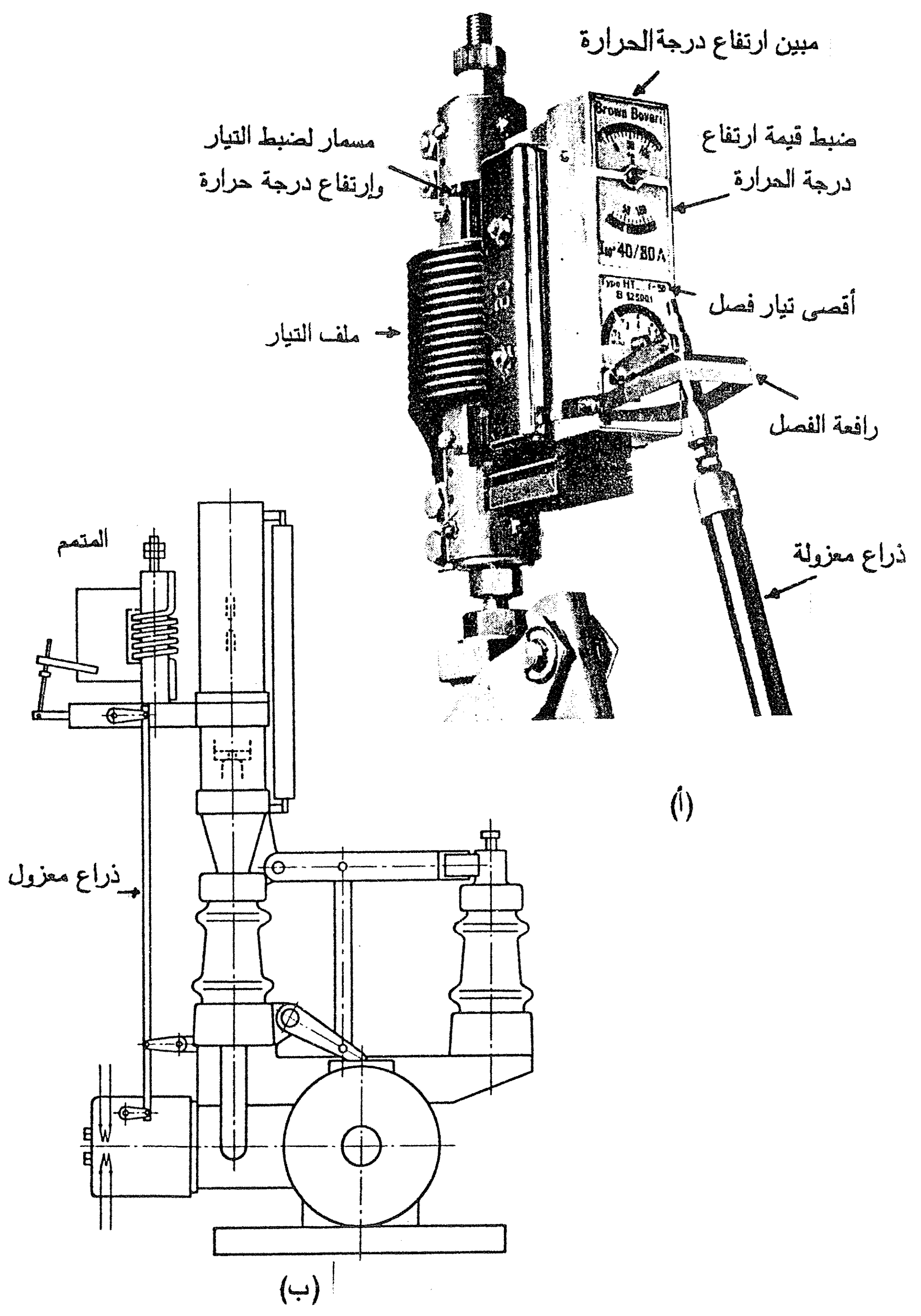
2) متممات الوقاية الثانوية

وهى المتممات التى تتغذى من الدوائر الثانوية لمحولات التيار ، وتصنف طبقاً لعلاقة التيار والزمن كالآتى :

أ) متممات الوقاية ذات الزمن المحدد .
ب) متممات الوقاية ذات الزمن العكسى .
ج) متممات الوقاية الحرارية الثانوية .



شكل (4-14) متمم وقاية ابتدائى



شكل (4-15) متمم وقاية ابتدائى من النوع الحرارى

وفيما يلى توضيح لهذه الأنواع :

أ) متممات الوقاية ذات الزمن المحدد :

أبسط أنواع هذه المتممات هو متمم وقاية ضد زيادة الحمل *(Overload relay)* أحادى الوجه - صناعة ألمانية - ويعمل بفكرة الحافظة المغناطيسية الدورانية *(Rotary armature magnetic)* ويحتوى على إشارة بيان *(Indicator)* ، ووسيلة لضبط قيمة تيار تشغيل المتمم والذى تتراوح حدوده من *4* إلى *8* أمبير ، ونقطتى تلامس *(Contact)* ، تستخدم لفصل قاطع التيار .

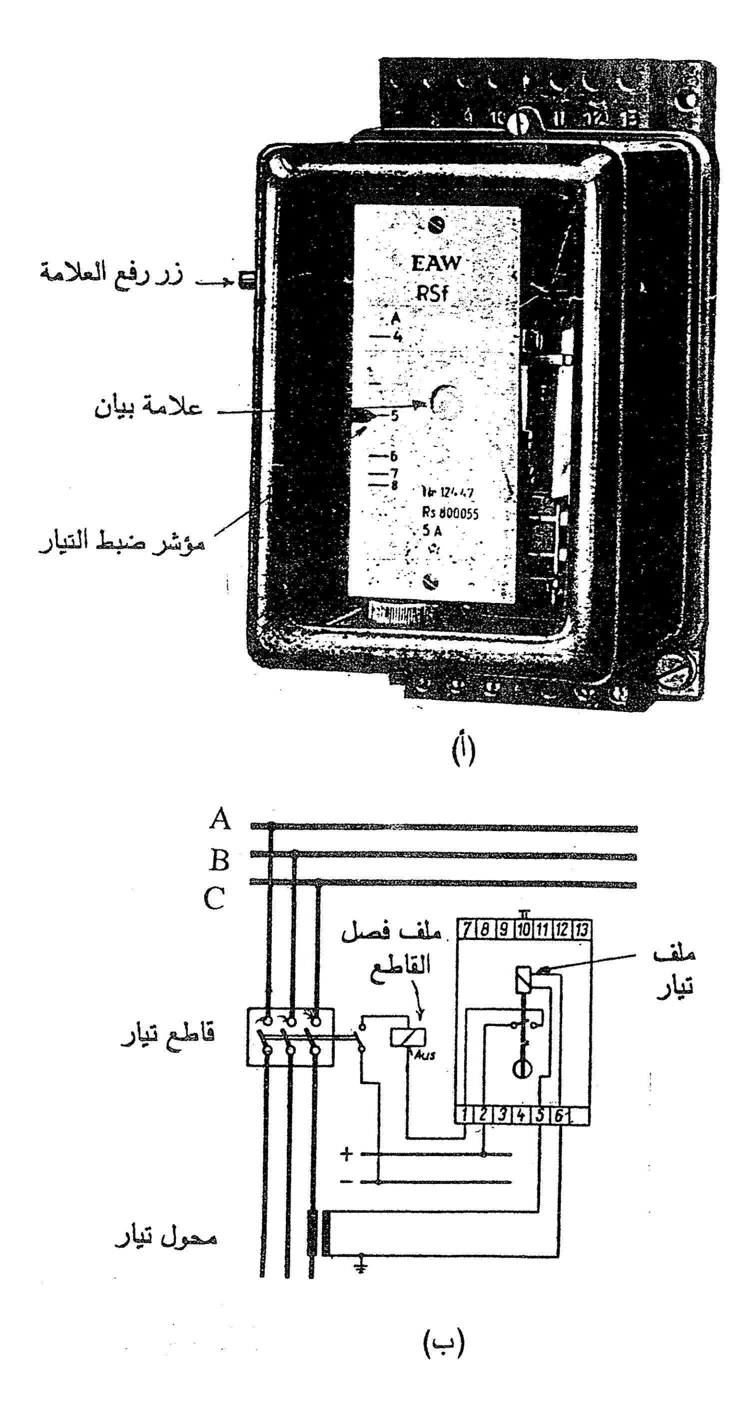
ويوضح شكل *(4-16)*أ مكونات المتمم ، بينما يوضح شكل *(4-16)*ب طريقة توصيل المتمم على الوجه *C* ، وإستخدام نقطتى التلامس لفصل قاطع التيار .

والجدير بالذكر أنه يمكن إستخدام ثلاثة متممات لوقاية الثلاثة أوجه *A , B , C* وفى هذه الحالة يتم توصيل نقطتى التلامس للثلاثة متممات على التوازى وإستخدامهم لفصل قاطع التيار .

إذا ضبط المتمم فى شكل *(4-16)* على قيمة *5* أمبير ، فإنه عند حدوث زيادة حمل تتعدى قيمة الضبط ، تقفل نقطتى تلامس المتمم فيمر تيار تشغيل فى ملف فصل قاطع التيار الذى يؤدى إلى فصل التيار عن الدائرة ، وفى الوقت نفسه تظهر على المتمم علامة بيان . فإذا إنخفضت قيمة التيار للقيمة التى تؤدى الى فتح نقطتى التلامس عندئذ يمكن إلغاء عامة البيان ، أما إذا إحتاج نظام الوقاية إلى تأخير زمنى محدد فيمكن إضافة مؤقت *(Timer)* يشتغل عن طريق نقطتى تلامس متمم الوقاية ضد زيادة الحمل ، وفى هذه الحالة تستخدم نقطتى تلامس المؤقت لفصل قاطع التيار

ويوضح شكل *(4-17)* مؤقت من النوع الكهرومغناطيسى - إنتاج ألمانى - يحتوى على مدى ضبط من صفر وحتى *12* ثانية - جهد التشغيل *110* فولت *(A.C)* . وتعتمد فكرة تشغيل المؤقت على محرك متزامن *(Synchronous motor)* يعطى بداية الحركة لمجموعة تروس وفى نهاية حركتها تقفل نقط التلامس (إعتماداً على قيمة الضبط) .

ويوضح شكل *(4-18)*أ متمم وقاية ضد زيادة التيار - أحادى الوجه - صناعة ألمانى



شكل (4-16) متمم وقاية ضد زيادة الحمل

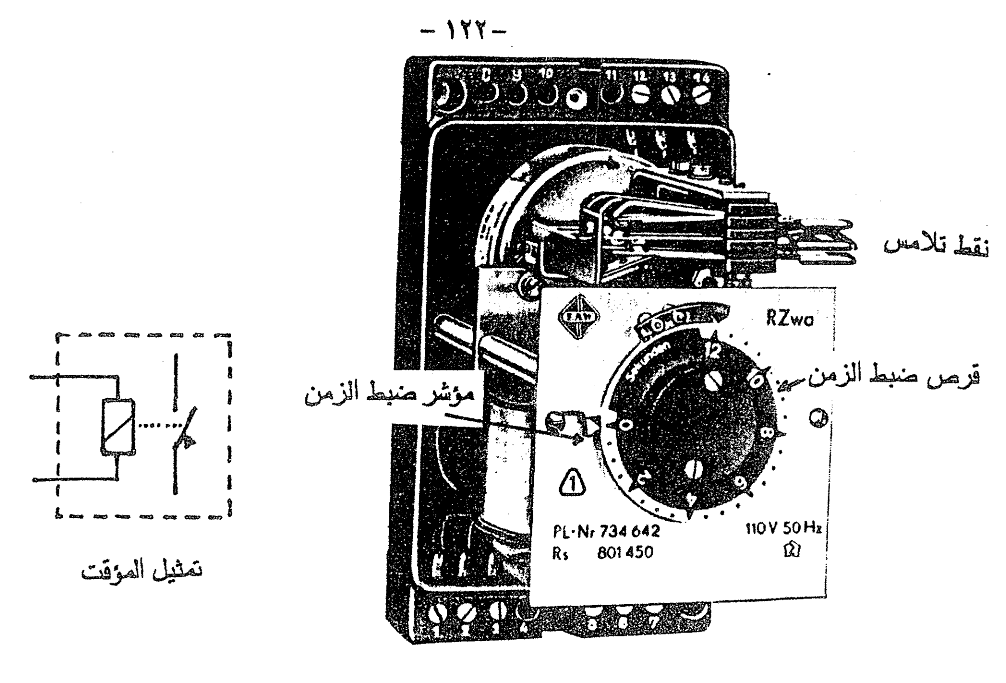
- له نفس فكرة النوع السابق ولكن نقطتى التلامس مقفولة *(Break contact trip)* ، وتكون فكرة التشغيل عند مرور تيار أكبر من قيمة الضبط يلقط المتمم ويفتح نقطتى التلامس مؤدياً إلى قطع مصدر تغذية ملف التوصيل ، أى يفصل القاطع ، كما هوواضح فى شكل *(4-18)*ب .

ويبين شكل *(4-19)*أ متمم وقاية ضد زيادة التيار للتركيب على وجه واحد - صناعة سويسرية - ويعمل بفكرة الحافظة المفصلية *(Hinged armature)* ، كما يحتوى على عنصر ضد زيادة التيار ، وعنصر ضد تيار القصر ومؤقت بالإضافة إلى مؤشر يوضح تقريباً التيار الثانوى المار بالمتمم . وتكون حدود ضبط عنصر زيادة التيار لقيمة ضعف قيمة التيار الثانوى المقنن (والذى يمكن إختياره أيضاً على الجهاز إما *2.5* أو *5* أمبير) ويصاحبه زمن محدد يمكن ضبطه من *0.2* إلى *10* ثوانى ، أما حدود عنصر تيار القصر فيمكن ضبطه حتى قيمة لا نهائية ولا يصاحبه زمن ، ويوضح شكل *(4-19)*ب الرسم الخطى لمكونات المتمم .

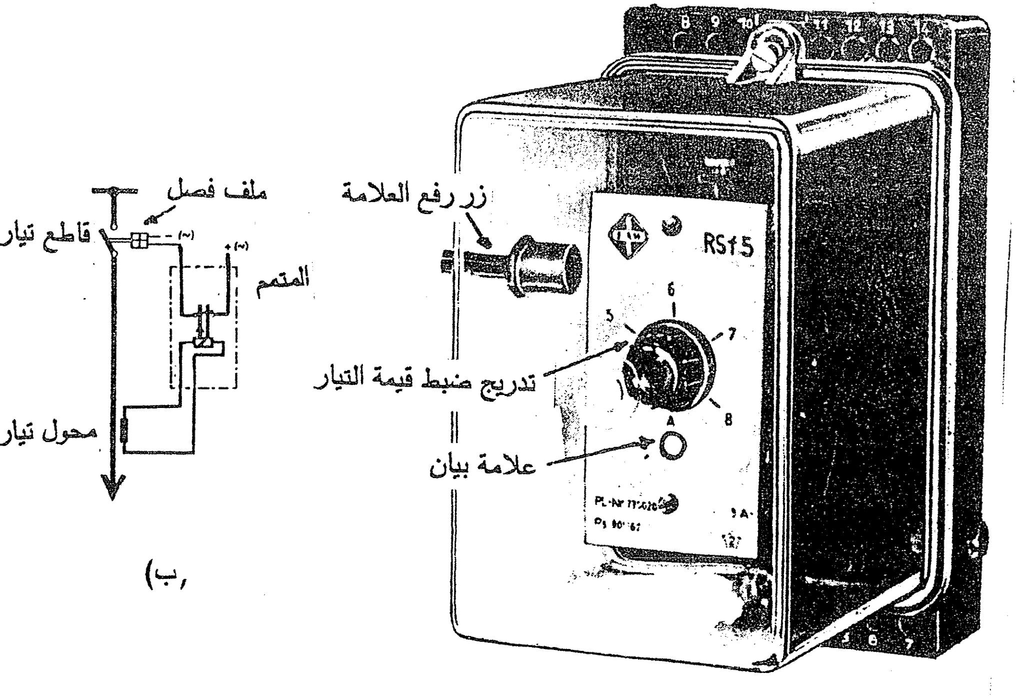
ويوضح شكل *(4-20)*أ متمم وقاية ضد زيادة التيار للتركيب على الأوجه الثلاثة - صناعة سويسرية - وهذا النوع أيضاً يعمل بفكرة الحافظة المفصلية ويحتوى على ثلاثة عناصر ضد زيادة التيار ، حدود الضبط من *4* إلى *10* أمبير ويحتوى على مؤقت يضبط من صفر إلى *12* ثانية .

تعتمد فكرة تشغيله على مرور تيار فى أحد الأوجه (أو أكثر) بقيمة أكبر من قيمة ضبط المتمم ، وبذلك تقفل نقطتى التلامس ، وتعمل على إشتغال المؤقت الذى بدوره يفصل قاطع التيار بعد الزمن المضبوط .

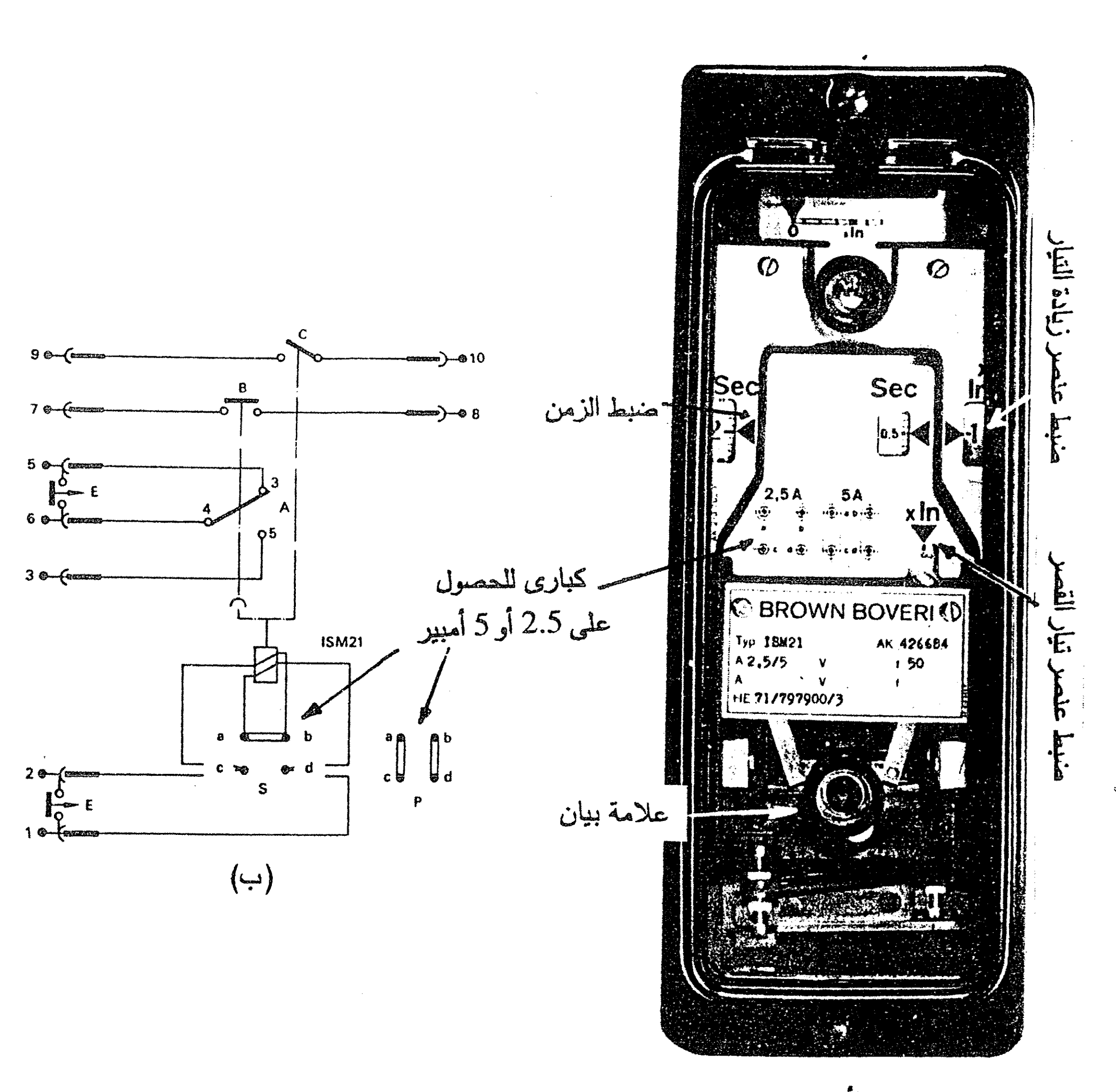
سبق أن ذكرنا ، أن العطل قد يكون قصر بين الثلاثة أوجه ، أو قصر بين وجهين أو قصر بين وجه والأرض ، كما هو مبين فى شكل *(4-21)* ويلاحظ من شكل *(4-21)*ج أنه يلزم وجود مسار لرجوع التيار وهو نقطة تعادل النظام . لذلك نحتاج لإضافة متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية يعمل بالتيار الثانوى وهو يشبه فى تركيبه متممات الوقاية ضد زيادة التيار ولكن قيم ضبطه تكون أقل من المستخدم لمتممات الوقاية ضد زيادة التيار .



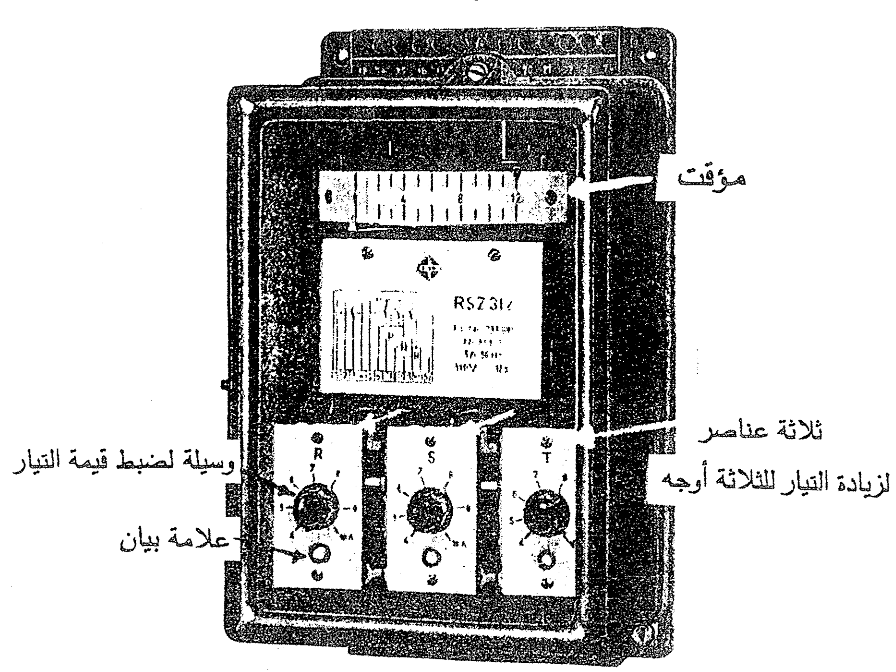
شكل (4-17) مؤقت



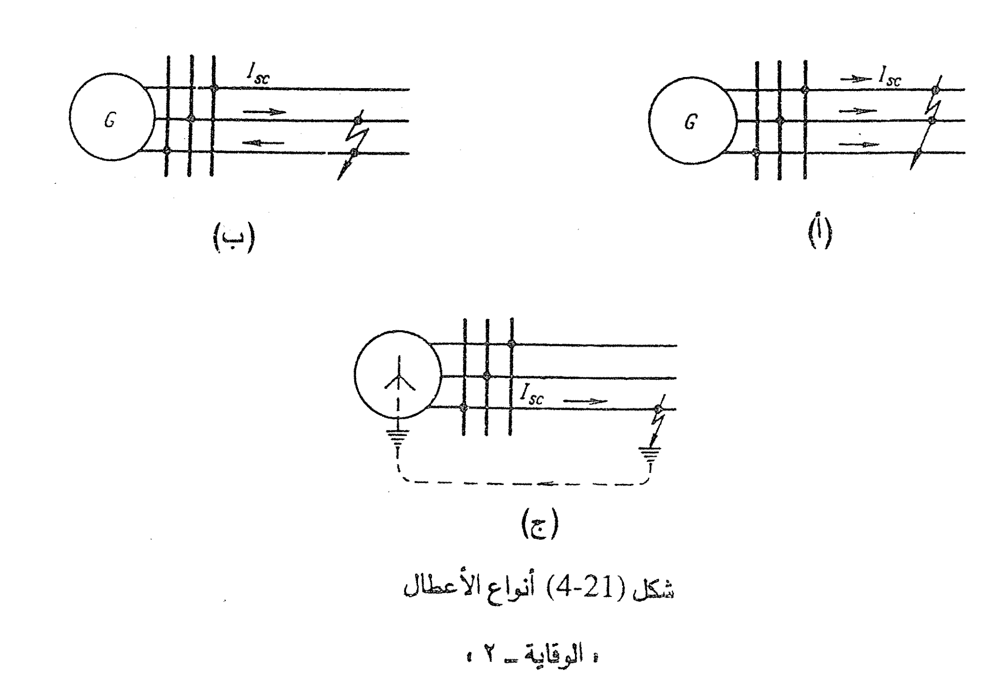
(أ) شكل (4-18) متمم وقاية ضد زيادة التيار احادى الوجه



شكل (4-19) متمم وقاية ضد زيادة التيار أحادى الوجه



شكل (4-20) متمم وقاية ضد زيادة التيار ثلاثى الاوجه



شكل (4-21) أنواع الأعطال

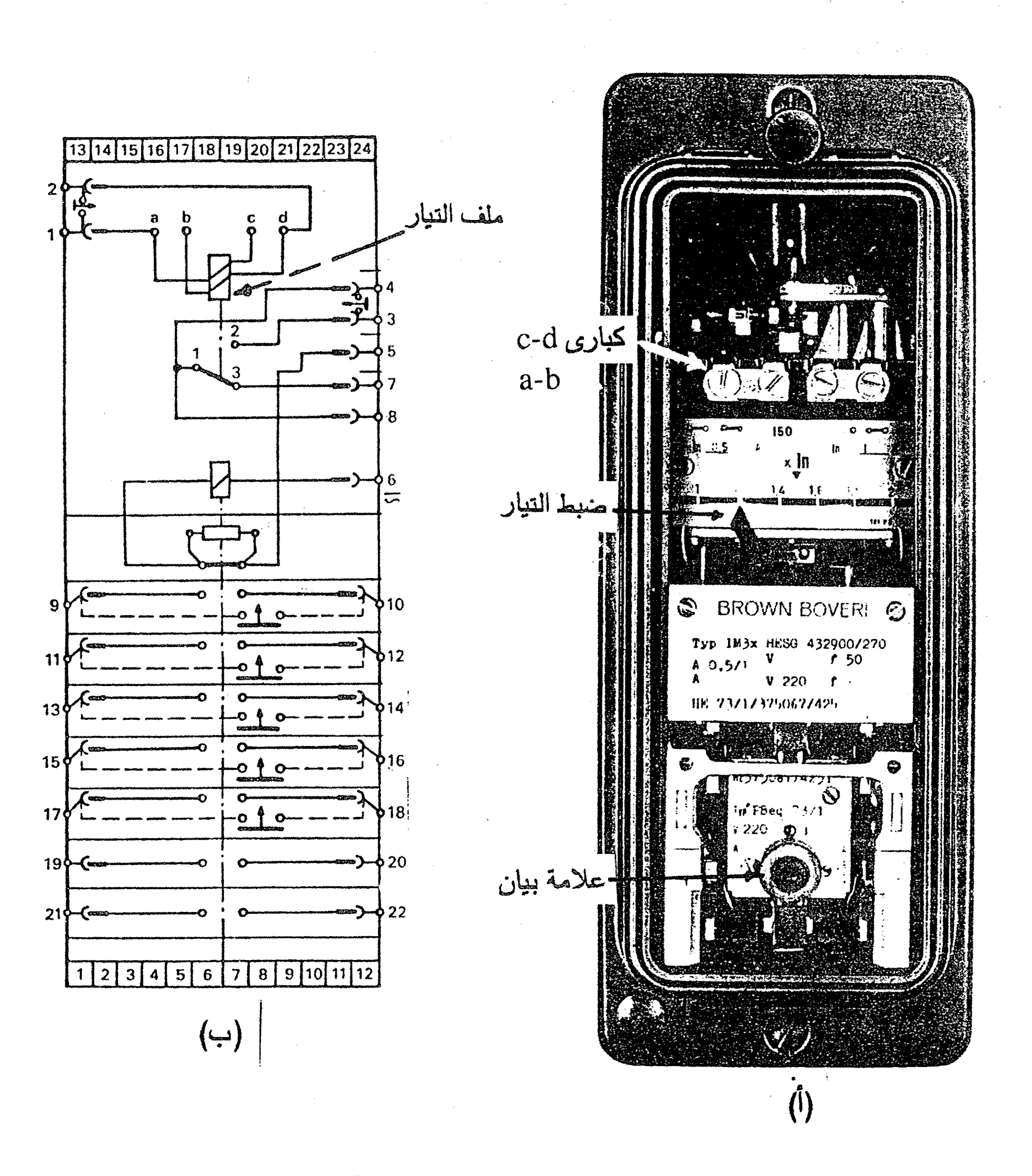
ويوضح شكل *(4-22)*أ متمم وقاية ضد إنخفاض التيار *(Undercurrent relay)* أو ضد التسرب الأرضى *(Earth leakage relay)* وهو يعمل بفكرة الحافظة المغناطيسية الدورانية *(Rotary armature magnetic)* ، ويكون التيار الثانوى المقنن I_n للمتمم إما *1* أمبير أو *0.5* أمبير معتمداً على توصيلة الكبارى الموجودة أعلى المتمم فى شكل *(4-22)*أ ويقابلها النقط *a, b, c, d* بشكل *(4-22)*ب والتى تعنى إما توصيل ملفى التيار على التوالى أو التوازى . أما عن حدود ضبط التيار فتكون من I_n إلى $2\,I_n$ كما يحتوى المتمم أيضاً على متمم مساعد داخلى *(Auxiliary relay)* وذلك لإستخدام نقط التلامس فى أغراض مختلفة ويكون زمن المتمم حوالى *0.13* ثانية .

	a	*b*	*c*	*d*
ملفين على التوازى	o———	o	o———	o
ملفين على التوالى	o	o———	o	o

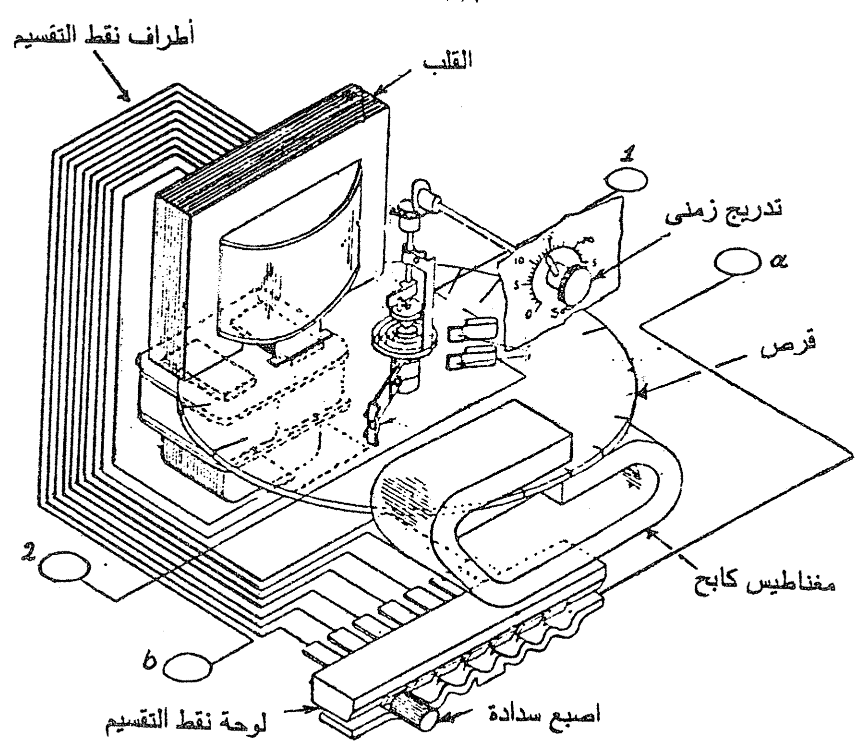
ب) متممات الوقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن العكسى :

تحتوى متممات الوقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن العكسى على قرص وتثبت نقط التلامس المتحركة على محور القرص وتتحكم فى الزمن عن طريق تغيير وضع البداية لنقط التلامس المتحركة بحيث نحصل على منحنيات عكسية مختلفة عند كل وضع ، يوضح شكل *(4-23)* مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن العكسى. تمثل الأطراف *a, b* ملف التيار بينما الأطراف *1, 2* تمثل نقط التلامس .

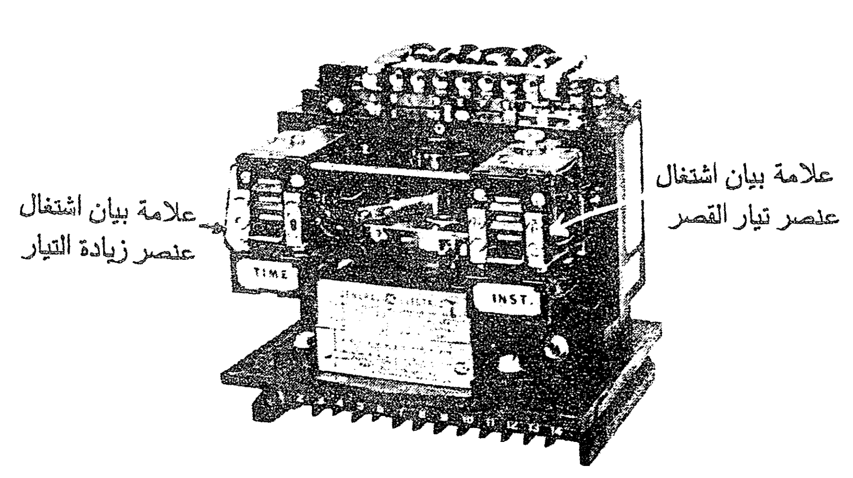
ويوضح شكل *(4-24)* متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى - إنتاج الولايات المتحدة الأمريكية - للتركيب على وجه واحد ويحتوى على عنصر ضد زيادة التيار ذي الزمن العكسى وعنصر ضد تيار القصر . وتوجد أنواع مختلفة من هذا المتمم يمكن تصنيفها حسب الخاصية بين التيار والزمن ، كما هو واضح بشكل *(4-25)* ، ومنها علاقة الزمن العكسى *(Inverse time)* وعلاقة الزمن العكسى المتناهى *(Extremely inverse)* .... عموماً يحتوى المتمم على قرص لضبط



شكل (22-4) وقاية ضد التسرب الأرضى



شكل (4-23) مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى



شكل (4-24) متمم وقاية ضد زيادة التيار دو الزمن العكسى

الزمن *(Time-dail setting)* وبتحريكه تتغير المسافة بين نقطتى التلامس وبالتالى يتغير منحنى الزمن ، كذلك يحتوى المتمم على نقط تقسيم *(Tap)* بتغييرها يتغير ضبط قيمة تيار التشغيل للمتمم .

ويوضح شكل *(4-26)* متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى - إنتاج سويسرى - حدود ضبط التشغيل من *4-16* أمبير وحدود ضبط الزمن *10%-100%* حيث يحتوى على مغناطيس فرملة *(Breaking magnet)* عبارة عن زوجين من مغناطيسين متقاطعين للحصول على سرعة دوران القرص عند التيار المعطى ، ومثبت على محور القرص نقطتى التلامس .

ج) متمم الوقاية الحرارية الثانوى *The Secondary Thermal Relay*

يغذى هذا المتمم من الملف الثانوى لمحول التيار ، والذى يحتوى على :

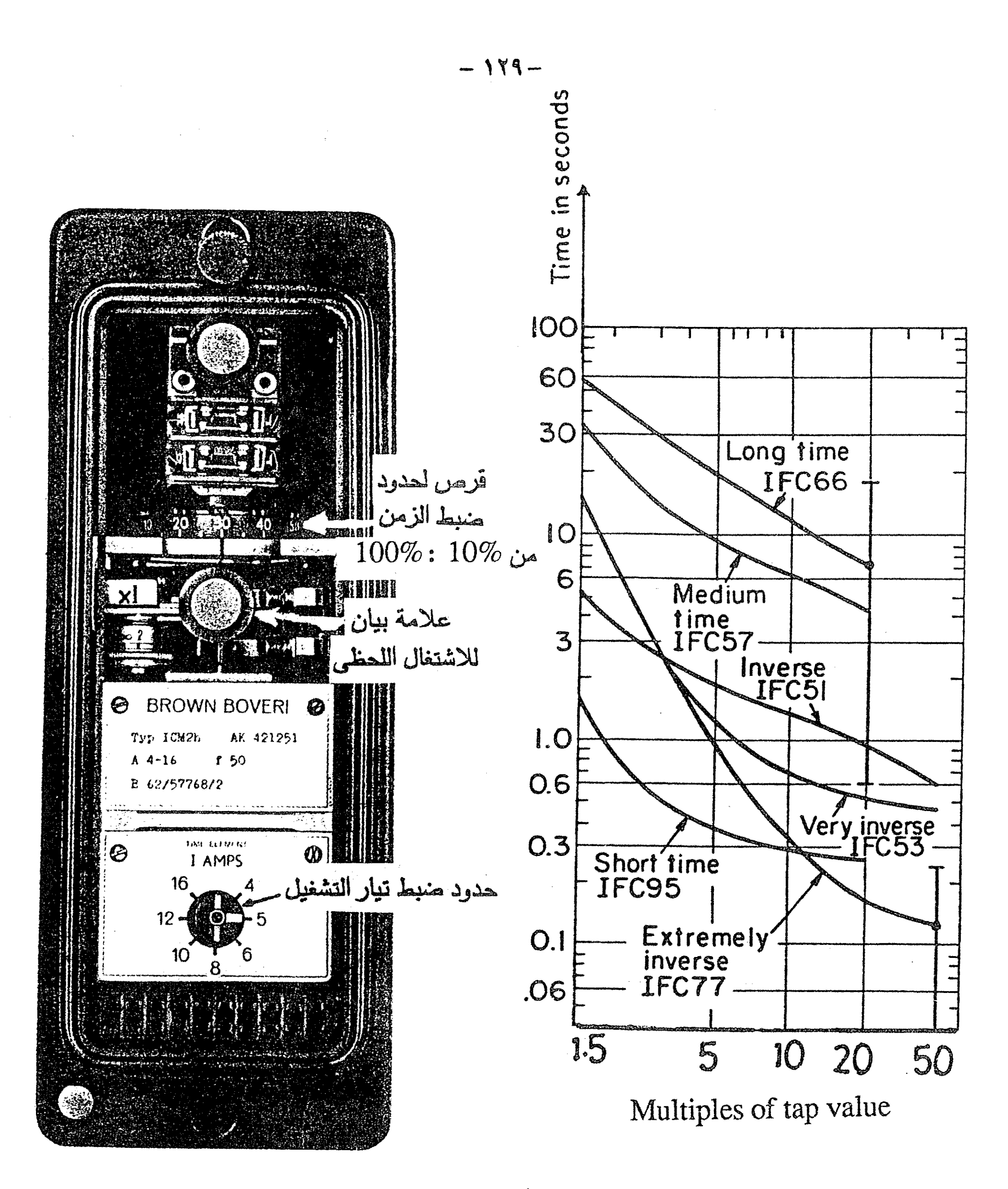
* عنصر حرارى *(Thermal element)* للوقاية ضد زيادة الحمل .
* عنصر وقاية ضد زيادة التيار *(Overcurrent element)* للوقاية ضد حالات القصر .

ويوضح شكل *(4-27)*أ المكونات الأساسية لمتمم وقاية حرارى ثانوى .

يتكون العنصر الحرارى من وسيلة لقياس درجة الحرارة عبارة عن شريحة من سبيكة مزدوجة من معدنين *(Bimetal strips)* ، وعنصر لتخزين الحرارة عبارة عن ألواح معدنية بواسطة عددها وسمكها يمكننا معرفة ثابت الزمن *(Time constant)* للمتمم ، كما يتكون من عنصر التسخين والذى يمر به تيار المدخل ويكون مسئولاً عن تسخين عنصرى قياس درجة الحرارة والتخزين .

وتعتمد فكرة المتمم أساساً على قياس الإرتفاع فى درجة الحرارة *(Temperature rise)* وهو الفرق بين درجة حرارة المعدة الكهربية المحملة بالتيار والمركب عليها المتمم لوقايتها ، وبين درجة الحرارة المحيطة بها *(Ambient temperature)* تبعاً للمعادلة الآتية :

$$\theta - \theta_O^{\circ} = (\theta_\infty - \theta_O)\ (1 - e^{-t/\tau})$$



شكل (4-26) متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى

شكل (4-25) منحنيات الخاصية العكسية بين التيار والزمن

وفى حالة عدم التحميل فإن $\theta_O = 0$ وتصبح المعادلة :

$$\theta = \theta_\infty (1 - e^{t/\tau})$$

حيث :

θ = الإرتفع فى درجة الحرارة *Temperature rise*

θ_O = إختلاف درجة الحرارة الأولية *Initial temperature difference*

θ_∞ = إختلاف درجة حرارة حالة الإستقرار *Steady state temperature difference*

t = الزمن

τ = ثابت الزمن *Time constant*

المتمم الموضح بشكل *(4-27)*أ يركب على وجه واحد فقط . وبذلك يستخدم متممين أو ثلاثة كوقاية للنظام ثلاثى الأوجه حسب الإحتياج ، وقد إستخدم فى شكل *(4-27)*ب متممى وقاية حرارية كوقاية للوجهين A , C ومعهما مؤقت زمنى (*Time-lag relay*) فعند حدوث زيادة حمل على الوجه A مثلاً ، فإن المتمم رقم *1* يشتغل مسبباً توصيل نقط التلامس a والتى بدورها تعمل على تشغيل الجرس وكذلك تشغيل المؤقت والذى يؤدى الى فصل قاطع التيار .

متممات الوقاية ضد زيادة التيار الاستاتيكية

تمتاز متممات الوقاية ضد زيادة التيار الاستاتيكية عن المتممات التقليدية (الكهرومغناطيسية) فى النقاط التالية :

1) تكون قدرة إستهلاك *(VA)* المتمم صغيرة جداً (حوالى من *7* مللى فولت أمبير وحتى *100* مللى فولت أمبير) بالمقارنة بالمتمم التقليدى والذى تكون قدرة الإستهلاك للمتمم بين *1000* مللى فولت أمبير وحتى *3000* مللى فولت أمبير ، وعلى ذلك يقل حجم قلب محول التيار المستخدم مع المتممات الاستاتيكية .

2) حجم المتمم أصغر كثيراً من حجم المتمم التقليدى .

3) لا يتأثر المتمم بالإهتزازات .

4) تكون الخاصية بين التيار والزمن أكثر دقة .

ويتكون متمم الوقاية ضد زيادة التيار من عناصر أساسية هى :

أ) عنصر المدخل *Input element*

ويتكون من محول تيار مساعد ، ووسيلة لضبط التيار ، ومرشح .

ب) عنصر توحيد *Rectifier element*

ويتكون من موحد تيار ودائرة تنعيم .

ج) كاشف مستوى *Level detector*

د) مكبر *Amplifier*

هـ) عنصر المخرج *Output element*

ويوضح شكل *(4-28)* تمثيل للعناصر المكونة لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار .

وقد يضاف عنصر تأخير زمنى ، فى حالة الإحتياج ، بين الموحد وكاشف المستوى . وتتلخص فكرة المتمم فى توصيل مخرج محول التيار المساعد على قنطرة توحيد ويوصل مخرج القنطرة على عنصر القياس (كاشف المستوى) . ويكون كاشف المستوى مسئولاً عن تحديد ما إذا كانت قيمة التيار أقل من أو أكثر من قيمة البداية *(Threshold)* أى أن كاشف المستوى يكشف عن أو يحدد مستوى إشارة المدخل .

وقد نحتاج فى بعض المتممات إلى تكبير إشارة مخرج كاشف المستوى لإستخدامه لتشغيل عنصر المخرج .

ويتكون كاشف المستوى من مكبرات تيار مستمر *(D.C. Amplifier)* ، ويكون المكبر من النوع ذى المرحلة الواحدة أو المرحلتين أو الثلاثة وعادة يحتوى على تغذية خلفية *(Feedback)* .

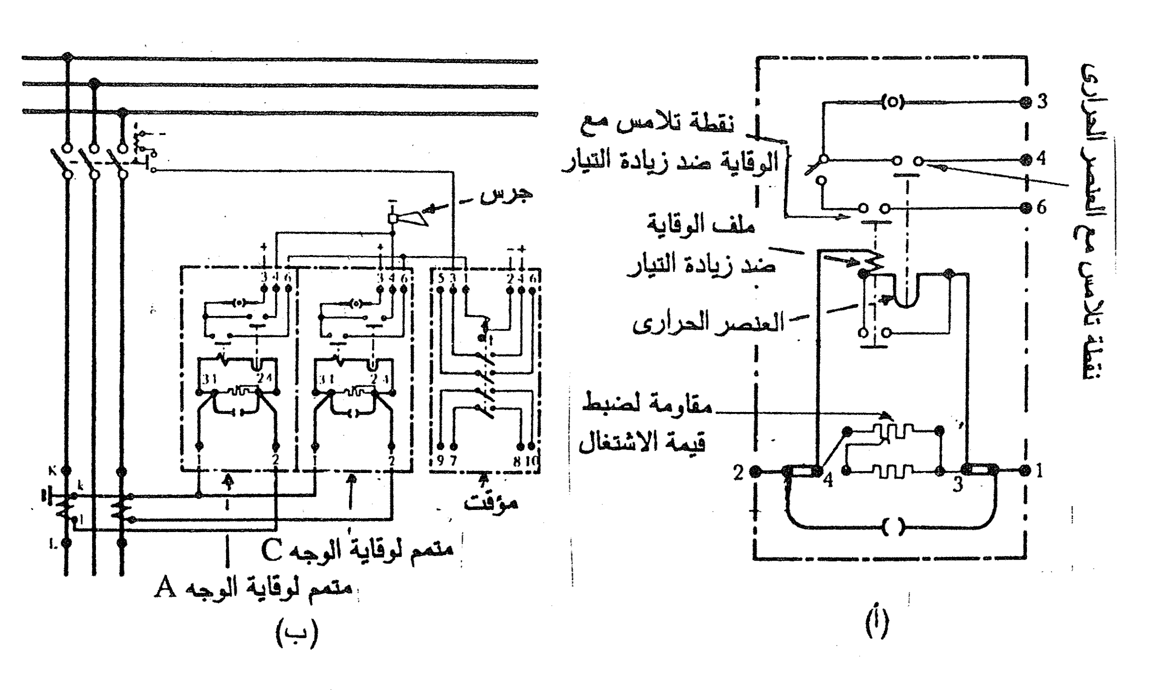
تضبط قيمة تيار تشغيل البداية I_{th} على المتمم بحيث يحدث التالى :

عندما $I_i < I_{th}$

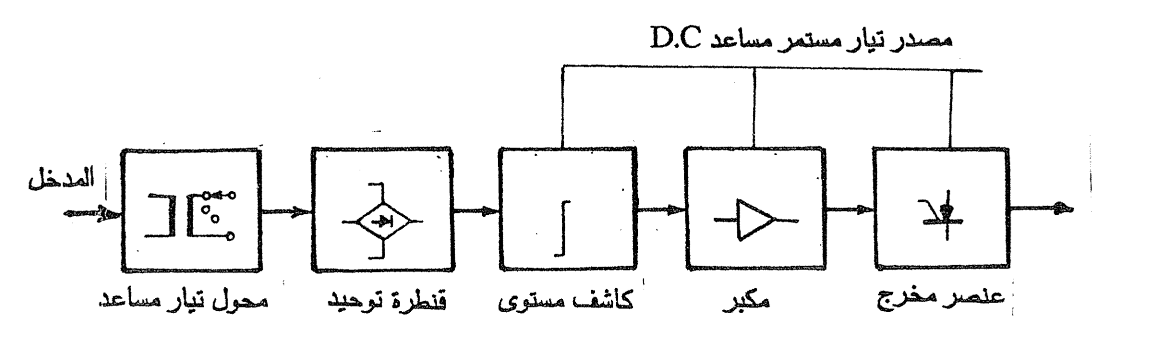
يكون I_O مساوياً للصفر

وعندما $I_i > I_{th}$

يكون I_O له قيمة



شكل (27-4) متمم وقاية حرارى ثانوى



شكل (28-4) تمثيل مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار من النوع الاستاتيكى

حيث : I_i = تيار المدخل لكاشف المستوى .
I_O = تيار المخرج لكاشف المستوى .
I_{th} = قيمة تيار تشغيل البداية (الضبط) والتى يمكن التحكم فى ضبطها .

بعد إشتغال عنصر القياس يمكن تكبير المخرج من خلال مكبر والذى يساعد على تشغيل عنصر المخرج مؤدياً إلى فصل قاطع التيار .

وعند إضافة مؤقت *(Timer)* تصبح مكونات متمم الوقاية ضد زيادة التيار كما فى شكل *(4-29)* ، حيث تم إضافة دائرة زمنية *(Time circuit)* ، وكاشف مستوى ، بحيث يكون كاشف المستوى الأول مسئولاً عن مقارنة تيار المدخل بقيمة ضبط تشغيل البداية ،بينما يكون كاشف المستوى الثانى مسئولاً عن مقارنة زمن إستمرار مرور التيار بالزمن المضبوط على المتمم .

ويلاحظ الآتى فى متممات الوقاية الاستاتيكية :

* يحتاج المتمم لإضافة مصدر تيار مستمر *(D.C)* مساعد لتشغيل كل من : المكبر ـ كاشف المستوى ـ عنصر المخرج .
* إحتواء المتمم على دائرة تنعيم (مقاومة ـ مكثف ...) للتخلص من التموجات *(Ripple)* الموجودة بمخرج موحدات التيار (ويرجع هذا لإحتواء تيار القصر على توافقيات) وبذلك تحمى مكونات الترانزستور من أى تغيرات طارئة فى موجة المدخل .

يمكن أن يحتوى متمم الوقاية الاستاتيكى على المؤقت أو أن يضاف له مؤقت خارجى ، لذلك سنبدأ بتوضيح فكرة من خاصية ومكونات المؤقت .

وكما ذكرنا سابقاً ، تعتمد خاصية المؤقت على العلاقة الآتية :

$$I^n t = K$$

حيث : I = التيار المار بالمتمم .
K = ثابت .
t = زمن التشغيل .
n = رقم يعتمد على خاصية المؤقت وهوعادة يتراوح بين 2 إلى 8 للحصول على الخاصية العكسية .

فمثلاً عندما $n = 0$ نحصل على علاقة ثابتة محددة بين الزمن والتيار وتعرف بخاصية الزمن المحدد *(Definite time characteristic)* وتصبح المعادلة :

$t = K =$ ثابت

وعندما $n = 1$ تكون العلاقة عكسية بين التيار والزمن *(Inverse characteristic)* وتصبح المعادلة :

$$t = \frac{K}{I}$$

وعندما $n = 8$ مثلاً نحصل على علاقة عكسية متناهية *(Extremely inverse characteristic)* وتصبح المعادلة :

$$t = \frac{K}{I^8}$$

وتكون العلاقة العامة لزمن تشغيل المتمم هى :

$$t = \frac{KM}{I^n - I_p^n}$$

حيث :

I = تيار التشغيل *(Pick-up current)*

I_p = قيمة تيار الضبط .

K = ثابت المتمم .

M = ضبط الزمن *(Time muliplier setting)*

عندما يلقط المتمم عند قيمة تيار نقطة الضبط *(Tap current)* تصبح $I_p = 1$ وتؤول المعادلة إلى :

$$t = \frac{KM}{I^n - 1}$$

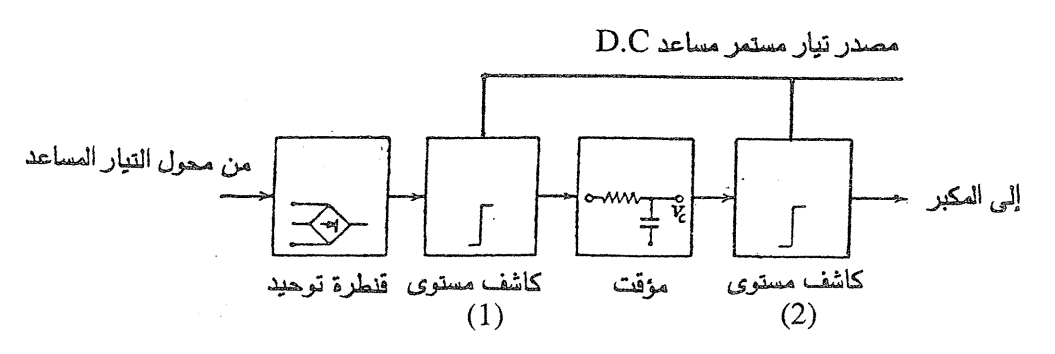
المكونات (أو عن طريق وسيلة تغيير بالمتمم) ٠

ويتكون المؤقت ، فى أبسط صوره ، من مقاومة ومكثف ويعتمد عمل المؤقت على تسليط جهد E بين طرفيه ، من مخرج كاشف المستوى رقم 1 بشكل $(4\text{-}29)$ ،

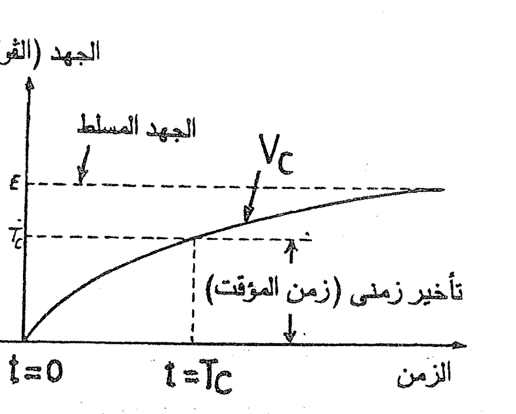
V_C = جهد المخرج للمؤقت

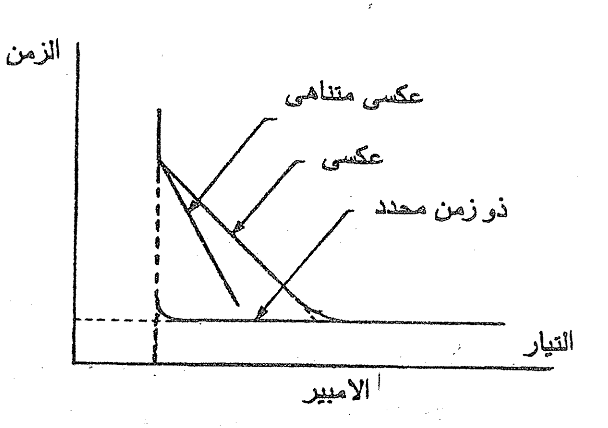
RC = ثابت الزمن

ويوضح شكل $(4\text{-}31)$ منحنى العلاقة بين الجهد والزمن تبعاً للمعادلة السابقة ٠ ومنه يتضح أنه عند حدوث مخرج من كاشف المستوى رقم 1 يكون الزمن t يساوى



شكل (4-29) تمثيل مكونات متمم الوقاية من النوع الاستاتيكى عند إضافة مؤقت





شكل (4-31) العلاقة بين الجهد والزمن

شكل (4-30) المنحنيات العكسية

للعلاقة بين التيار والزمن

صفر ، بينما يحدث مخرج من كاشف المستوى رقم 2 عندما $t = T_C$ (حيث T_C هو قيمة ضبط الزمن على كاشف المستوى رقم 2) ، ولو فرضنا أن V_T هو جهد بداية التشغيل للمؤقت فإن الزمن المطلوب للوصول الى قيمة الجهد V_T يعتمد عن زمن شحن المكثف والذى نحصل عليه من المعادلة :

$$T_C = RC \; Log_e \; [\; \frac{E}{E - V_T} \;]$$

أى أن T_C هو التأخير الزمنى للمتمم .

أ) متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن اللحظى

Static Instantaneous Overcurrent Relay

يتكون متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن اللحظى الاستاتيكى من العناصر الأساسية الموضحة بشكل *(4-32)* وهى :

1) محول تيار مساعد من النوع ذى الثغرة الهوائية (والذى يتناسب جهد المخرج له خطياً مع تيار المدخل) يتم توصيله من الدوائر الثانوية لمحولات التيار الرئيسية .
2) كاشف مستوى .
3) مقاومة (أو مقاومات) متغيرة لضبط المتمم أو التغيير عن طريق الملفات الابتدائية لمحول التيار المساعد وذلك بإستخدام سدادات أصبعية *(Plugs)* .
4) مصدر جهد مساعد (كمرجع) .
5) عنصر المخرج .

يوحد تيار المدخل ، ثم يقارن بجهد المصدر المساعد (المرجع) ، ويستخدم فرق الجهد لتشغيل كاشف المستوى ، وعند وصول قيمة فرق الجهد لقيمة إطلاق المبدئ *(Threshold)* نحصل على مخرج من كاشف المستوى ، والذى يكبر ويقوم بتشغيل عنصر المخرج ، كما يفضل إضافة منظم جهد *(Stabilizer)* لحماية الترانزستور من مخاطر تغيير الجهد عند قيم التيارات الكبيرة (تيار القصر مثلاً) ويوضح شكل *(4-33)* أحد الدوائر البسيطة لمتمم وقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن اللحظى بإستخدام مكونات عبارة عن : ترانزستورات ومقاومات - ديودات - مكثفات - عنصر مخرج -

عنصر مدخل . وتعتمد فكرة تشغيله على توحيد جهد مخرج المحول المساعد وتحدد القيمة من خلال الزنير ديود Z_{d1} وذلك لحماية مدخل الترانزستور من القيم المرتفعة للجهد . ويحافظ الزنير ديود Z_{d2} على ثبات قيمة جهد الباعث للترانزستور T_1 وعلى أن يكون سالباً بالنسبة لموجب جهد المرجع . ويكون الوضع العادى أن T_1 , T_2 فى حالة فصل بينما T_3 فى حالة توصيل .

عند إرتفاع قيمة الجهد بين طرفى مقسم الجهد ، وذلك عند زيادة التيار ، يصبح جهد القاعدة للترانزستور T_1 سالباً بالنسبة لجهد الباعث ، وعندئذ يتحول T_1 إلى حالة التوصيل ويتحول T_2 إلى حالة التشبع أى يمد ملف عنصر المخرج بالطاقة . ويكون الغرض من توصيل الديود D_2 على التوازى مع ملف عنصر المخرج هو حماية الترانزستور T_2 من إنعكاس الجهد وذلك عندما يكون عنصر المخرج غير شغال .

ب) متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد

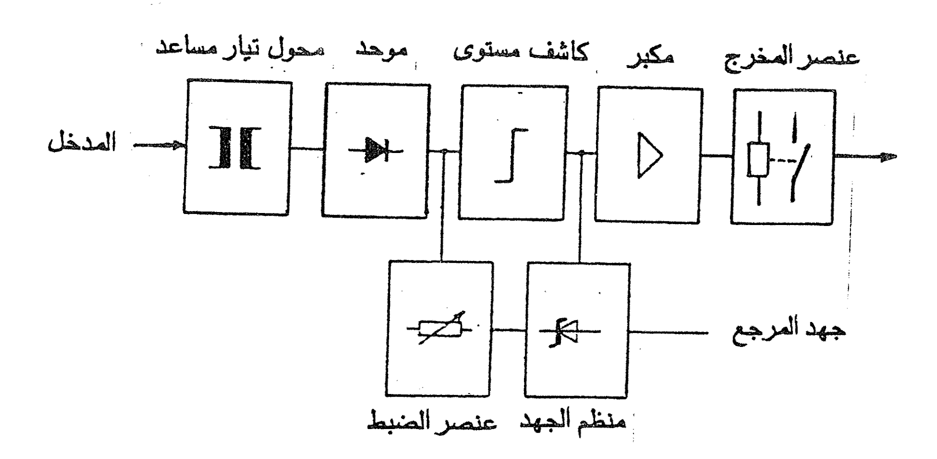
Static Definite Time Overcurrent Relay

يتكون متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد من نفس مكونات متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن اللحظى بالإضافة إلى عنصر زمن *(RC)* ، وكاشف مستوى لعنصر الزمن ، كما فى شكل *(4-34)* .

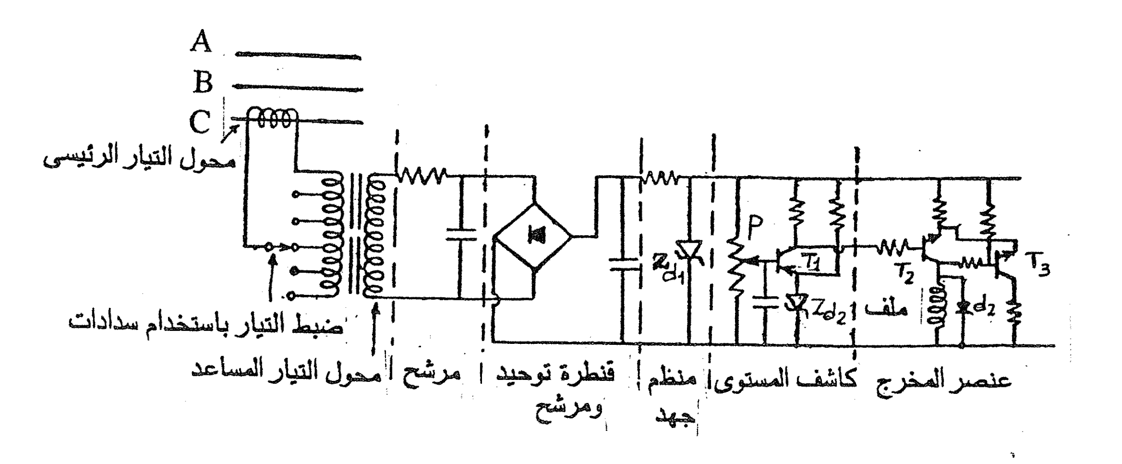
يوضح شكل *(4-35)* دائرة متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد من النوع الاستاتيكى ، يتناسب جهد الطرفين A , B مع تيار المدخل . وتكون فكرة عمل المتمم كالآتى :

*** تضبط مقاومة الحياز R_3 *(Bias resistor)* بحيث عندما يمر تيار المدخل العادى يكون الترانزستور T_1 فى حالة توصيل والمكثف C كدائرة قصر *(Shorted)* .**

*** عند زيادة قيمة تيار المدخل ، بحيث تتعدى قيمة الضبط على المتمم ، يتحول الترانزستور T_1 لحالة الفصل ويبدأ المكثف C فى الشحن من خلال المقاومة R والترانزستور T_2 . وعندما يتعدى جهد المكثف قيمة إشتغال كاشف المستوى يتحول الترانزستور T_3 لحالة التوصيل ويتحول الترانزستور T_4 لحالة الفصل . وعن طريق**



شكل (4-32) مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن اللحظى من النوع الاستاتيكى



شكل (4-33) متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن اللحظى من النوع الاستاتيكى

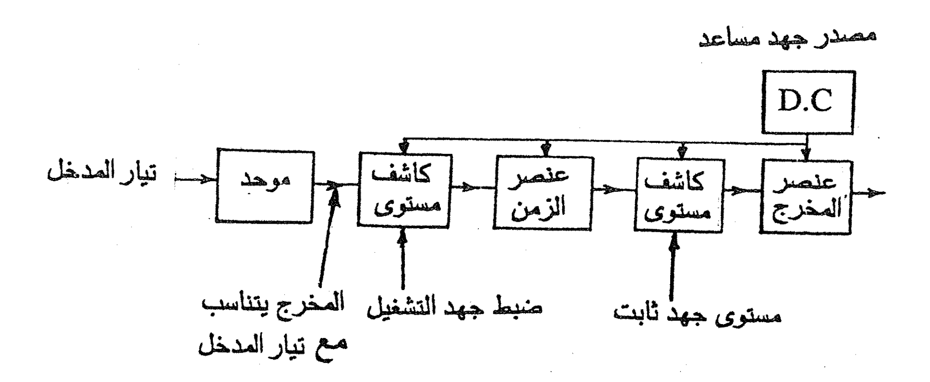
الترانزستور T_3 يتحول الترانزستور T_5 لحالة التشبع والذى يمد ملف عنصر المخرج بالطاقة ، أى يعمل عنصر المخرج بعد زمن معين يعتمد على قيم C, R .

يستخدم متمم الوقاية ضد زيادة التيار للتركيب على وجه واحد *(Single Phase)* ، كما فى شكل *(4-35)* ، أو للتركيب على الثلاثة أوجه *(Three-phase)* فى حالة التركيب على الثلاثة أوجه ، فإن المتمم يحتوى على :

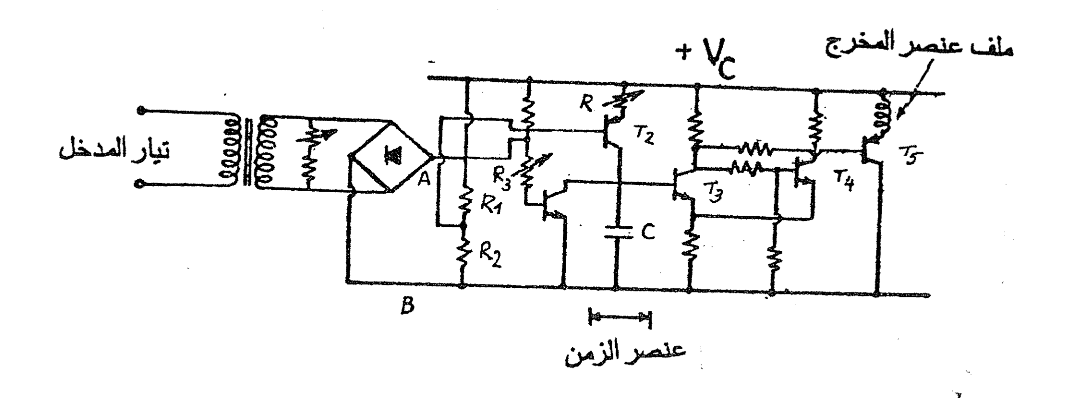
* ثلاثة عناصر مدخل .
* ثلاثة قناطر توحيد يتم توصيل مخرجهم على التوازى .
* كاشف مستوى واحد .
* مؤقت واحد .

يوضح شكل *(4-36)* مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد للتركيب على الثلاثة أوجه . تغذى محولات التيار المساعدة بتيارات الأوجه , I_C, I_B I_A ، وللحماية من الجهود الزائدة يتم توصيل مقاومة غير خطية *(Non-linear resistor)* بين طرفى مخرج المحول المساعد ، ويتم ضبط قيمة تيار تشغيل المتمم بواسطة المقاومة المتغيرة R *(Potentiometer)* . وعند وصول قيمة جهد مخرج الموحد لقيمة تشغيل كاشف المستوى رقم *1* ، فإنه يمد ملف المتمم المساعد بالطاقة وتقفل نقطتى التلامس الخاصة به ، والتى بدورها تمد عنصر الزمن بالطرف الموجب للجهد . وعندما يتعدى جهد المكثف قيمة تشغيل جهد كاشف المستوى رقم *2*، فإنه يمد ملف عنصر المخرج بالطاقة . أى يحدث إشتغال لعنصر المخرج عندما يتعدى التيار المار بأحد الأوجه (أو أكثر من وجه) قيمة تيار الضبط على المتمم وبتأخير زمنى يساوى قيمة زمن الضبط على المتمم أيضاً . مع ملاحظة أن ضبط زمن المتمم يتم عن طريق سدادات أصبعية *(Plugs)* لتغيير قيمة المقاومة R_1 .

ويمكن إستخدام هذاالمتمم للتركيب على وجهين *(2-Phase)* فقط ، بينما العنصر الثالث يستخدم كمتمم وقاية ضد التسرب الأرضى وذلك بمراعاة الطريقة السليمة لتوصيل تيار المدخل كذلك قيم ضبط التشغيل .



شكل (4-34) مكونات متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد من النوع الكهروستاتيكى



شكل (4-35) دائرة متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد من النوع الاستاتيكى

ويوضح شكلى *(4-37)*أ-ب ، طريقة توصيل المتمم على ثلاثة أوجه وطريقة التوصيل على وجهين والأرضى .

ج) متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو التأخير الزمنى واللحظى

Static Time Lag / Instantaneous Overcurrent Relay

يتكون هذا النوع من :

* متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو التأخير الزمنى .
* متمم وقاية ضد تيار القصر ذو زمن لحظى .

ويوضح الشكل *(4-38)* المكونات الأساسية لهذا المتمم حيث أضيفت مقاومة متغيرة لضبط قيمة تيار القصر وكاشف مستوى ، وعلى ذلك يوجد مسارين لتشغيل عنصر المخرج هما :

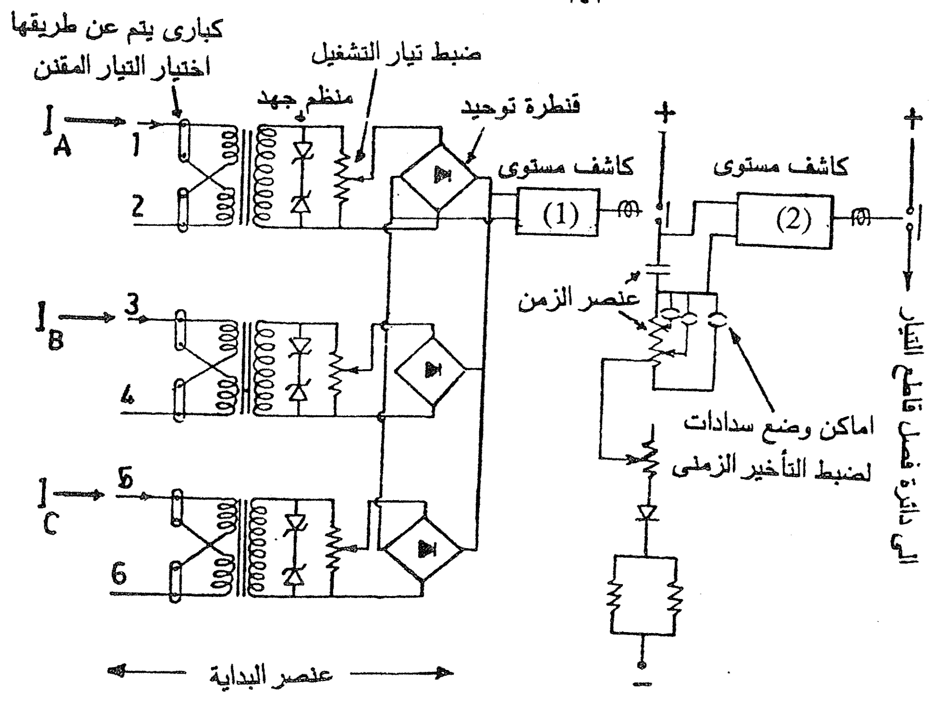
١) كاشف المستوى رقم *1* الذى يعمل عند زيادة التيار عن قيمة الضبط ، مؤدياً إلى إشتغال عنصرالزمن وكاشف المستوى رقم *2* .

2) كاشف المستوى رقم *3* الذى يعمل عند وصول تيار القصر إلى قيمة الضبط للمتمم (ولا يحتوى على عنصر زمن) .

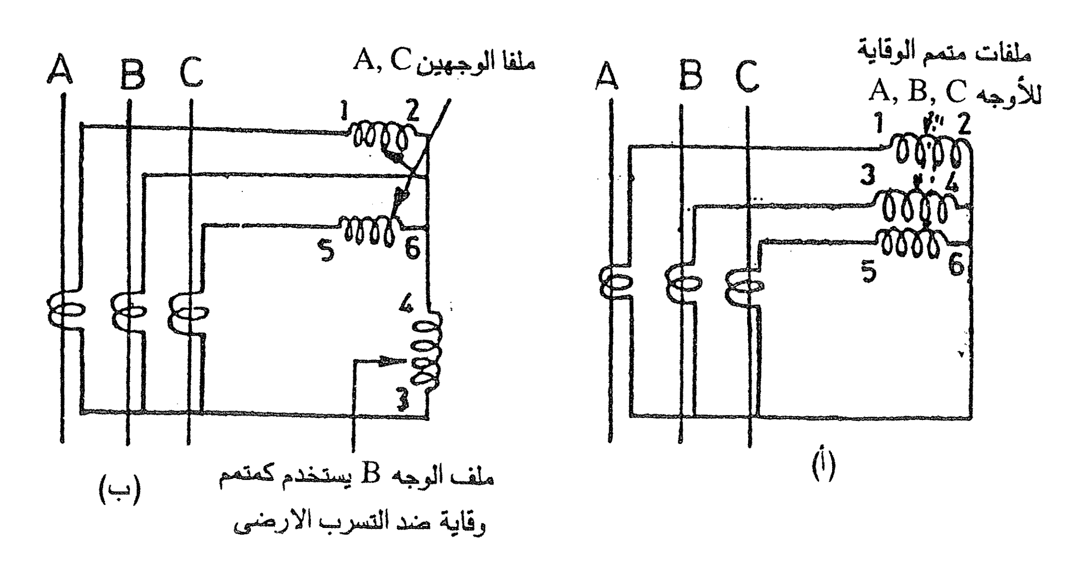
ويلاحظ إحتواء الشكل على إشارة مرئية *(Target)* تعطى دلالة لبداية إشتغال المتمم ، حيث تم تكبير إشارة مخرج كاشف المستوى رقم *1* وهو الخاص بحدوث زيادة تيار ، وإستخدامه لتشغيل الإشارة .

ويمكن إستخدام الدوائر المتكاملة *(ICs)* للوصول لنفس الغرض ، فمثلاً تستخدم شريحة كاشف مستوى ، بدلاً من دائرة كاشف المستوى المكون من ترانزستور ومقاومات .... ، كذلك يمكن إستخدام شريحة مؤقت .... وهكذا ..... وفى هذه الحالة يتم إستخدام ديود الإنبعاث الضوئى *(LED)* لإعطاء الإشارة المرئية .

يجب معرفة أنه ليس المقصود بالزمن اللحظى أن زمن التأخير الزمنى يساوى الصفر ولكن يكون الزمن ، فى هذه الحالة ، صغير جداً ممثلاً فى زمن إشتغال كاشف المستوى وعنصر المخرج والإشارة المرئية ، فمثلاً شكل *(4-39)* يوضح العلاقة بين



شكل (4-36) مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد ثلاثى الأوجه من النوع الكهروستاتيكى



شكل (4-37) طرق توصيل متمم ثلاثى الأوجه

الزمن اللحظى ، لمتمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن اللحظى ، ومضاعفات تيار اللقط *(pick-up)* للمتمم ويتضح من الشكل أن الزمن اللحظى يكون ثابتاً لقيم التيار الكبير ويساوى *30* مللى ثانية تقريباً . ويوضح شكل *(4-40)* متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو تأخير زمنى ولحظى ، صناعة سويسرية ، ويركب على الثلاثة أوجه ويعمل كوقاية ضد زيادة التيار بتأخير زمنى محدد وكوقاية ضد تيارات القصر بدون زمن .

ويوضح شكل *(4-41)* المكونات الأساسية لدائرة هذا المتمم .

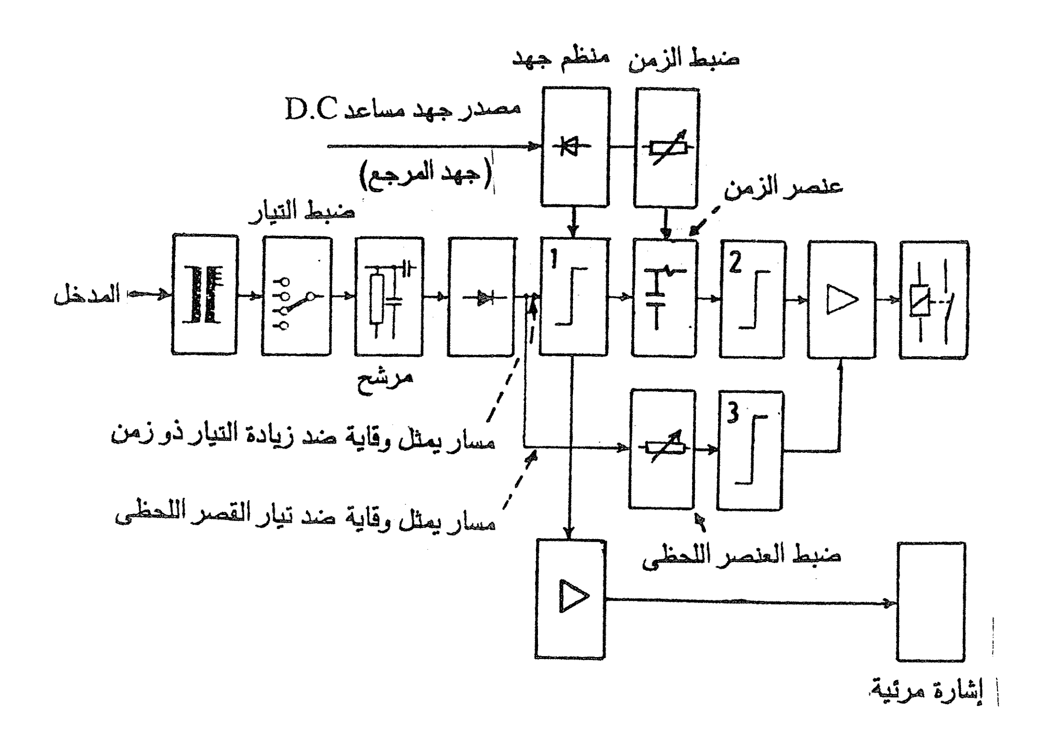
يتكون المتمم من ثلاثة عناصر مدخل متماثلة ، كل عنصر عبارة عن محول مساعد ـ مرشح ـ قنطرة توحيد ـ مقاومة غير خطية ، وتوصل مخارج هذه العناصر على التوازى ويغذى مخرجهم مسارين هما :

* المسار الأول ويمثل الوقاية ضد زيادة التيار ذات الزمن المحدد وهى عبارة عن مقاومات (لضبط قيمة تيار اللقط) وكاشف المستوى وعنصر زمن .
* المسار الثانى ويمثل الوقاية ضد تيار القصر اللحظى وهى عبارة عن مقاومات (لضبط قيمة تيار اللقط فى حالة القصر) وكاشف مستوى .

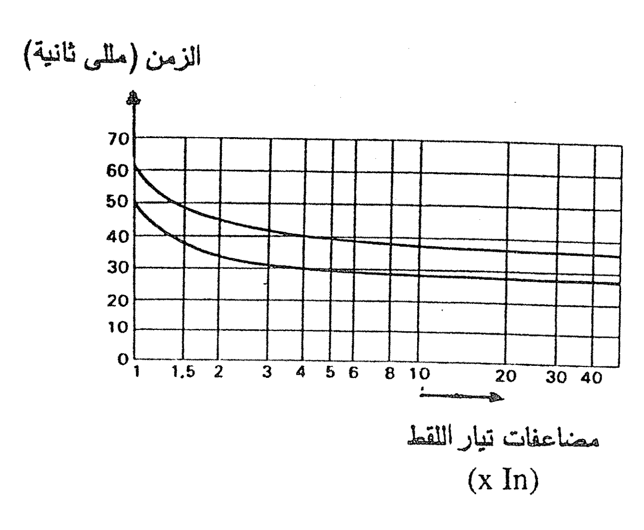
وهذان المساران يغذيان دالة *OR* ، ففى حالة وجود مخرج من أى من المسارين نحصل على مخرج من دالة *OR* والتى بدورها تشغل عنصر المخرج ، والذى يتكون من الترانزستور *Au* ومتمم مساعد من النوع الكهرومغناطيسى *da* وعلامة بيان *ha* وعند إشتغال مسار الوقاية ضد زيادة التيار ، كبداية تشغيل المتمم ، فإن مخرج كاشف المستوى يعمل على تشغيل الترانزستور *A* وإشارة بداية التشغيل والمتمم المساعد *dl* .

ويوضح شكل *(4-42)*أ متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو تأخير زمنى ولحظى ـ ثلاثى الأوجه ـ صناعة ألمانى . ويحتوى على العناصر التالية :

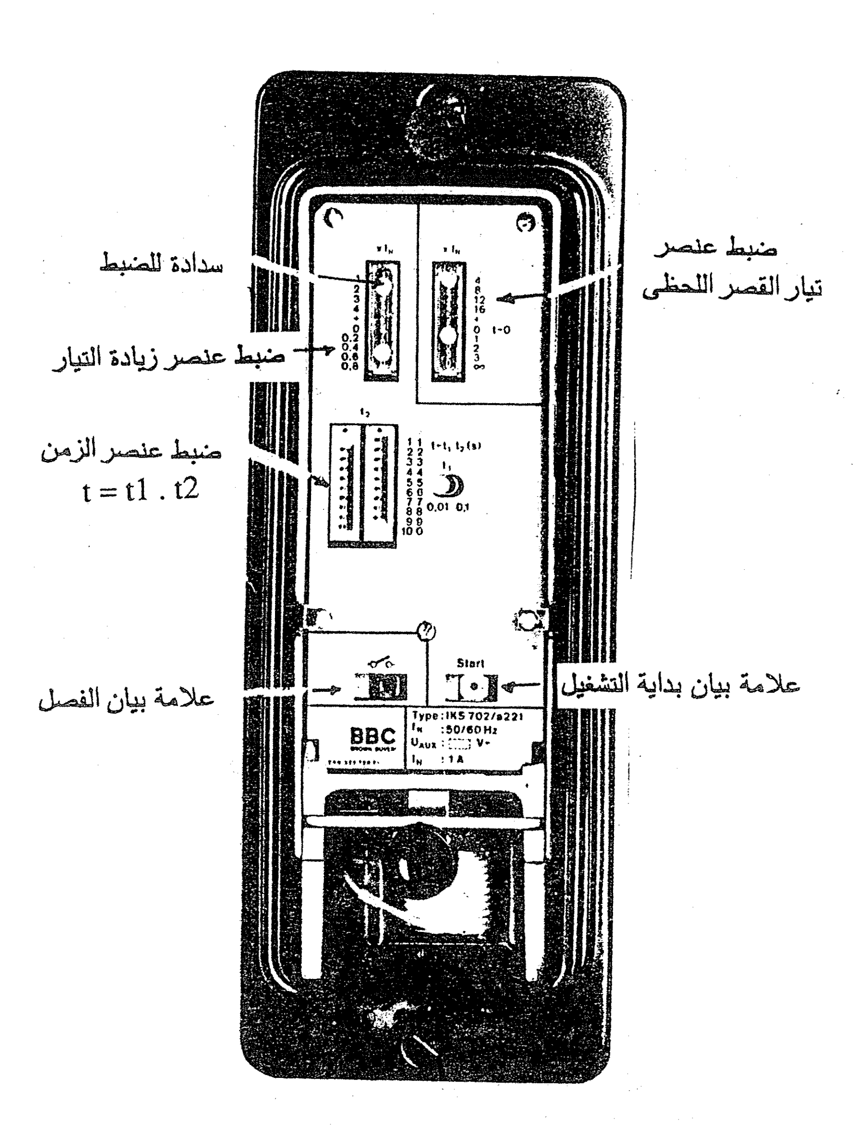
* الوقاية ضد تيارات القصر (ويرمز له *J* <<) ويحتوى على خمسة سدادات أصبعية *(Plugs)* للضبط وهى القيم ∞ , *6.4* , *3.2* , *1.6* , *0.8* ويمكن إستخدام أى منهم للحصول على الضبط المطلوب تبعاً للمعادلة :



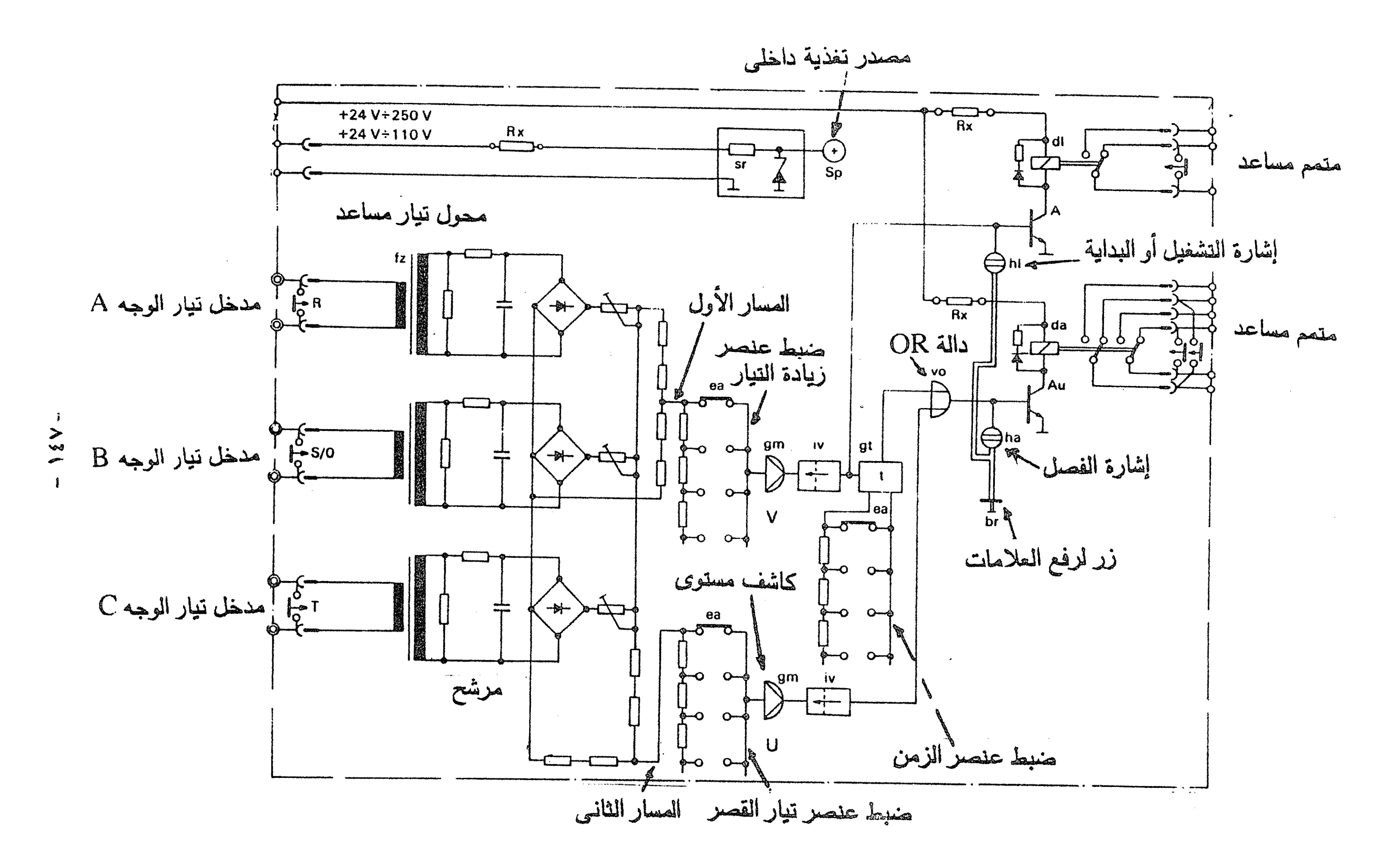
شكل (4-38) مكونات متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو التأخير الزمنى واللحظى



شكل (4-39) العلاقة بين التيار والزمن اللحظى



شكل (4-40) متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو تأخير زمنى ولحظى



شكل (4-41) المكونات الاساسية لمتمم وقاية ضد زيادة التيار دو تأخير زمنى ولحظى

$(J>>) = 4 + \theta + \theta + ...$

ويجب إستبدال العلامة θ بالقيمة المقابلة على واجهة المتمم وبملاحظة شكل (4-42)أ حيث إستخدمت القيمتين 3.2 , 0.8 فأصبحت قيمة ضبط تيار القصر اللحظى :

$$(J>>) = 4 + 0.8 + 3.2 = 8$$

أى ثمانية أمثال قيمة التيار المقنن (فى هذا النوع قيمة التيار المقنن J_N يساوى 1 أمبير) .(يعتبر الرقم 4 فى المعادلة قيمة أساسية *Basic value*) .

* الوقاية ضد زيادة التيار ذات تأخير زمنى محدد (ويرمز له $J>$) ويحتوى على خمسة سدادات أصبعية (*Plugs*) للضبط وهى القيم 0.8 , 0.4 , 0.2 , 0.1 , 0.05 وتخضع قيمة الضبط للمعادلة التالية :

$(J>) = 0.5 + \theta + \theta + ...$

وبالرجوع إلى شكل (4-42)أ نجد أنه تم ضبط عنصر زيادة التيار على القيمة

$$(J>) = 0.5 + 0.8 = 1.3$$

أى 1.3 من قيمة التيار المقنن J_N .

* عنصر التأخير الزمنى t ويحتوى على عدد 6 قيم للضبط تبعاً للعلاقة :

$t = 0.1 + \theta + \theta + ...$

بالرجوع إلى شكل (4-42)أ نجد أن قيمة الضبط هى :

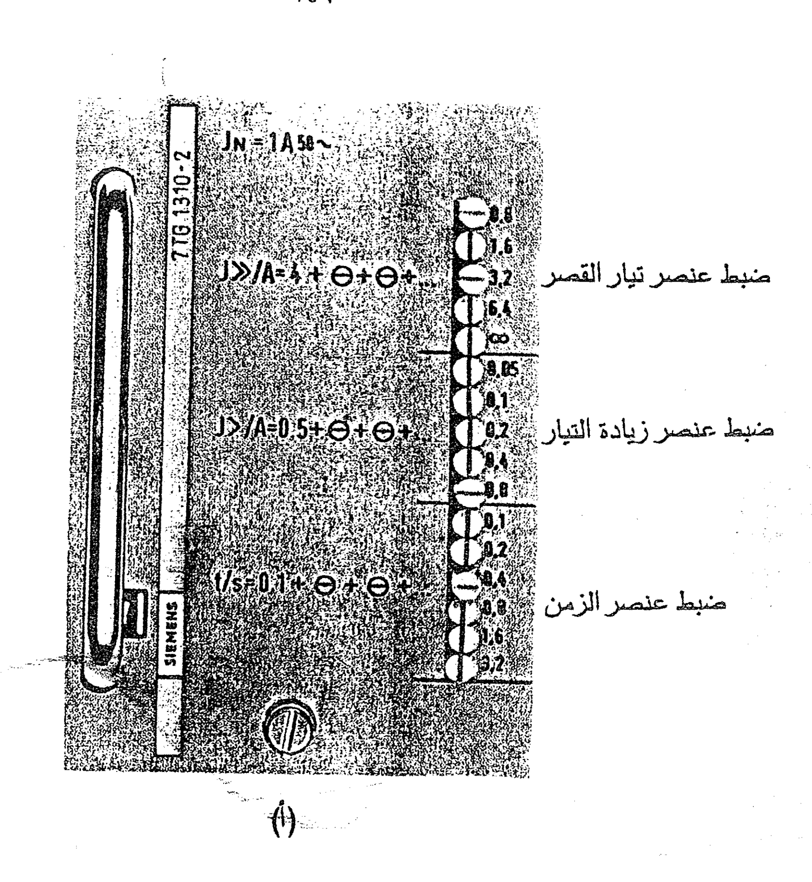
$$t = 0.1 + 0.4 = 05 \qquad sec.$$

وبذلك يكون الضبط النهائى لهذا المتمم كالآتى :

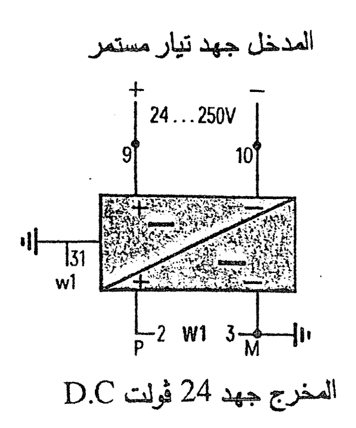
عنصر وقاية ضد زيادة التيار 1.3 أمبير ، 0.5 ثانية .

عنصر وقاية عند تيار القصر 8 أمبير ، لحظى .

يوضح شكل (4-43) المكونات الأساسية لدائرة هذا المتمم ، ويحتاج المتمم لتشغيله



(أ)



المخرج جهد 24 ڤولت D.C

(ب)

شكل (42-4) متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو تأخير زمنى ولحظى / ثلاثى الأوجه

« الوقاية ـ ٢ »

إلى تيار مستمر *(D.C)* كجهد مرجع قيمته *24* فولت ، لذلك يحتوى المتمم على عنصر لتحويل التيار المستمر *(D.C)* إلى تيار مستمر *(D.C/D.C Converter) D.C* ويرمز للمخرج (*24* فولت) بالرمز *W1* (كما فى شكل *(4-42)*ب) وتتكون الدائرة من

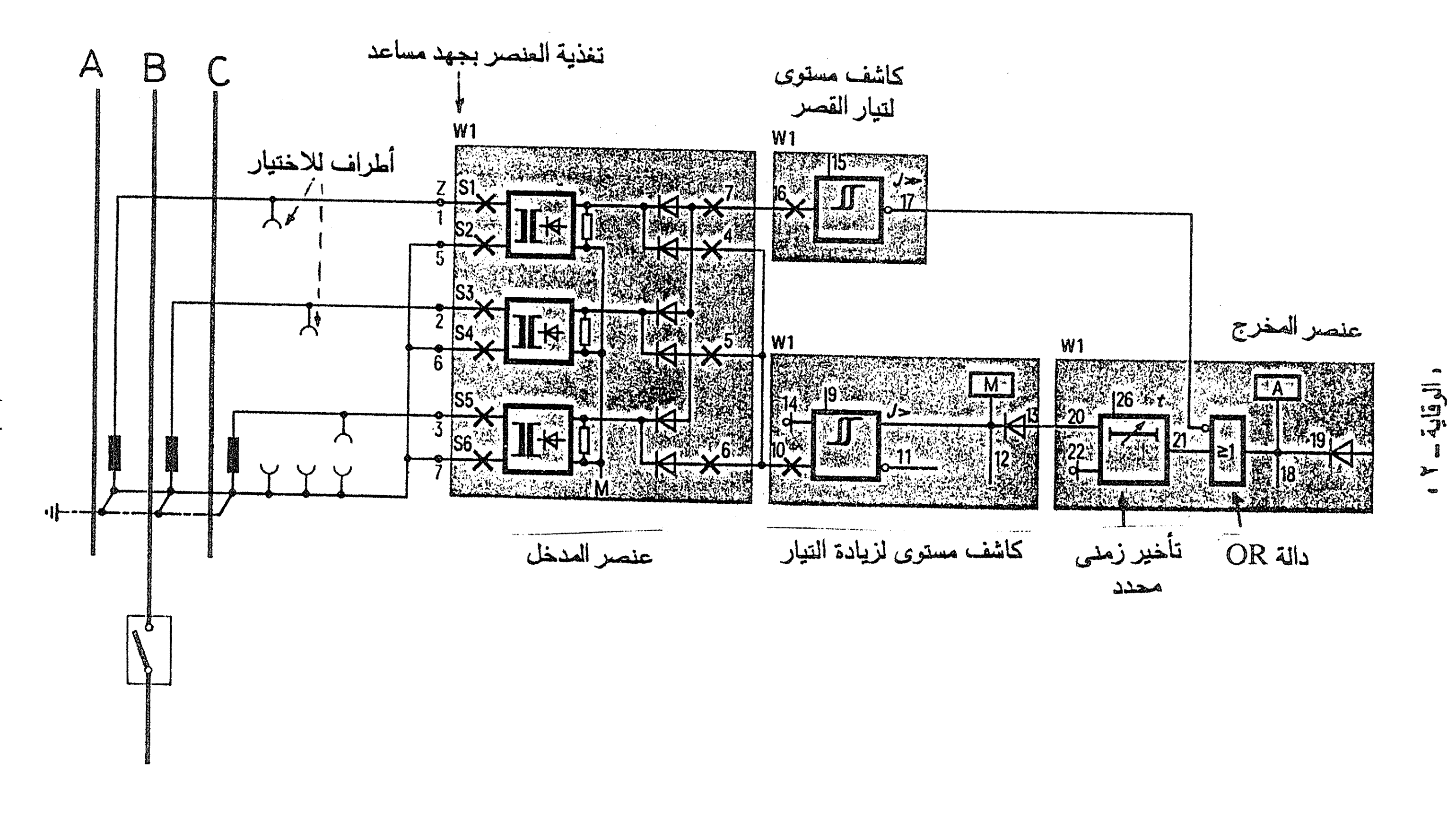
* عنصر مدخل (محولات تيار مساعدة ، دائرة توحيد ، دائرة تنعيم) .
* عنصر ضد تيار القصر اللحظى (كاشف مستوى) .
* عنصر ضد زيادة التيار ذو التأخير الزمنى (كاشف مستوى وموقت) .
* دالة *OR*
* عنصر المخرج .

كما يوضح شكل *(4-44)*أ نوع آخر من متممات الوقاية ضد زيادة التيار بتأخير زمنى محدد وضد تيار القصر بتأخير زمنى أيضاً ، صناعة ألمانى ، يركب على الثلاثة أوجه ونقطة التعادل . ويحتوى على العناصر الآتية :

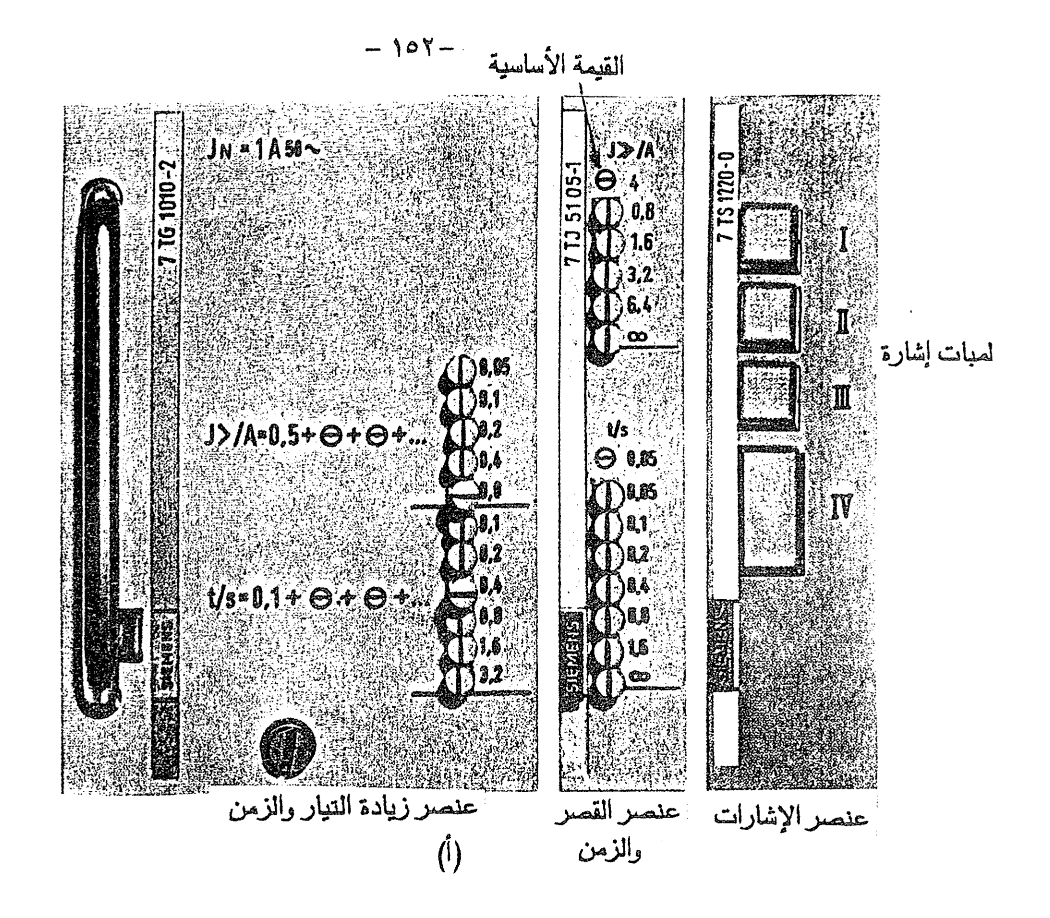
* وقاية ضد زيادة التيار بتأخير زمنى محدد .
* وقاية ضد تيار القصر بتأخير زمنى محدد .
* عنصر للإشارات *(Signalling)* يحتوى على أربعة لمبات إشارة خاصة بالآتى :
  - فصل بعنصر تيار القصر ($I >>$)
  - بداية تشغيل لعنصر تيار القصر ($I >>$)
  - فصل بالوقاية ضد زيادة التيار ($I >$)
  - بداية تشغيل لعنصر زيادة التيار ($I >$)

وقد لا يحتاج هذا المتمم لأكثر من مستوى (أو قيمة) للتيار المستمر *(D.C)* والمستخدم كجهد مرجع ، كما فى شكل *(4-44)* ب ، حيث حول التيار المستمر *(D.C)* إلى تيار مستمر *(D.C) (D.C. / D.C Converter)* بقيم مختلفة رمز لها بالرموز W_1 , X_1 , X_2 وذلك لتشغيل العناصر المكونة للمتمم .

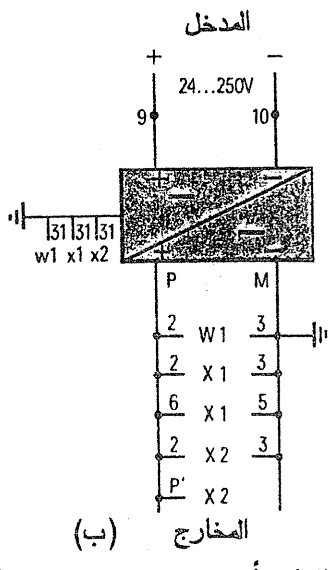
ويوضح شكل *(4-45)* المكونات الأساسية لدائرة هذا المتمم ويلاحظ فيه إحتواء عنصر المدخل على أربعة محولات تيار مساعدة للتوصيل على الثلاثة أوجه ونقطة التعادل .



شكل (4-43) المكونات الاساسية لمتمم الوقاية الموضح بشكل (4-42)

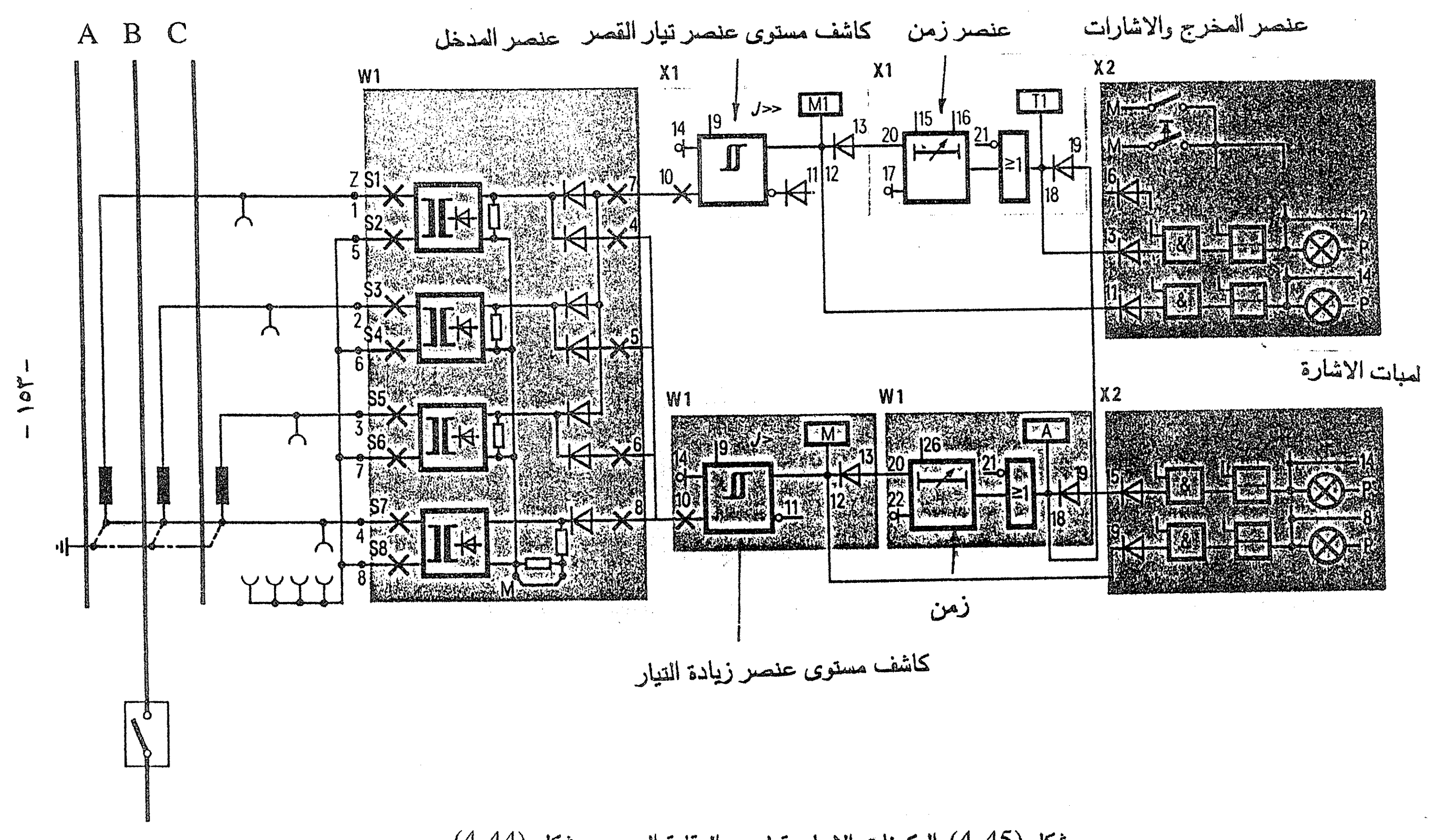


(أ)



(ب)

شكل (4-44) متمم وقاية ضد زيادة التيار بتأخير زمنى محدد ـ وضد تيار القصر بتأخير زمنى محدد



شكل (4-45) المكونات الاساسية لمتمم الوقاية الموضح بشكل (4-44)

هذا المتمم عبارة عن مجموعة كروت *(Modules or Cards)* مجهزة للدخول والخروج فى الجسم الأساسى للمتمم ، فمثلاً يوضح شكل *(4-46)* عنصر الوقاية ضد تيار القصر ذو الزمن المحدد موضحاً الواجهة الأمامية والواجهة الجانبية للجهاز ويوضح هذا الشكل كيفية الضبط لعنصر تيار القصر *(I>>)* وعنصر الزمن *(t)* ، كذلك يوضح الأطراف التى تدخل فى أماكنها بجسم *(Case)* المتمم بالإضافة الى مكونات العنصر والتى تتكون من مقاومات ـ مكثفات ـ ترانزستورات .....

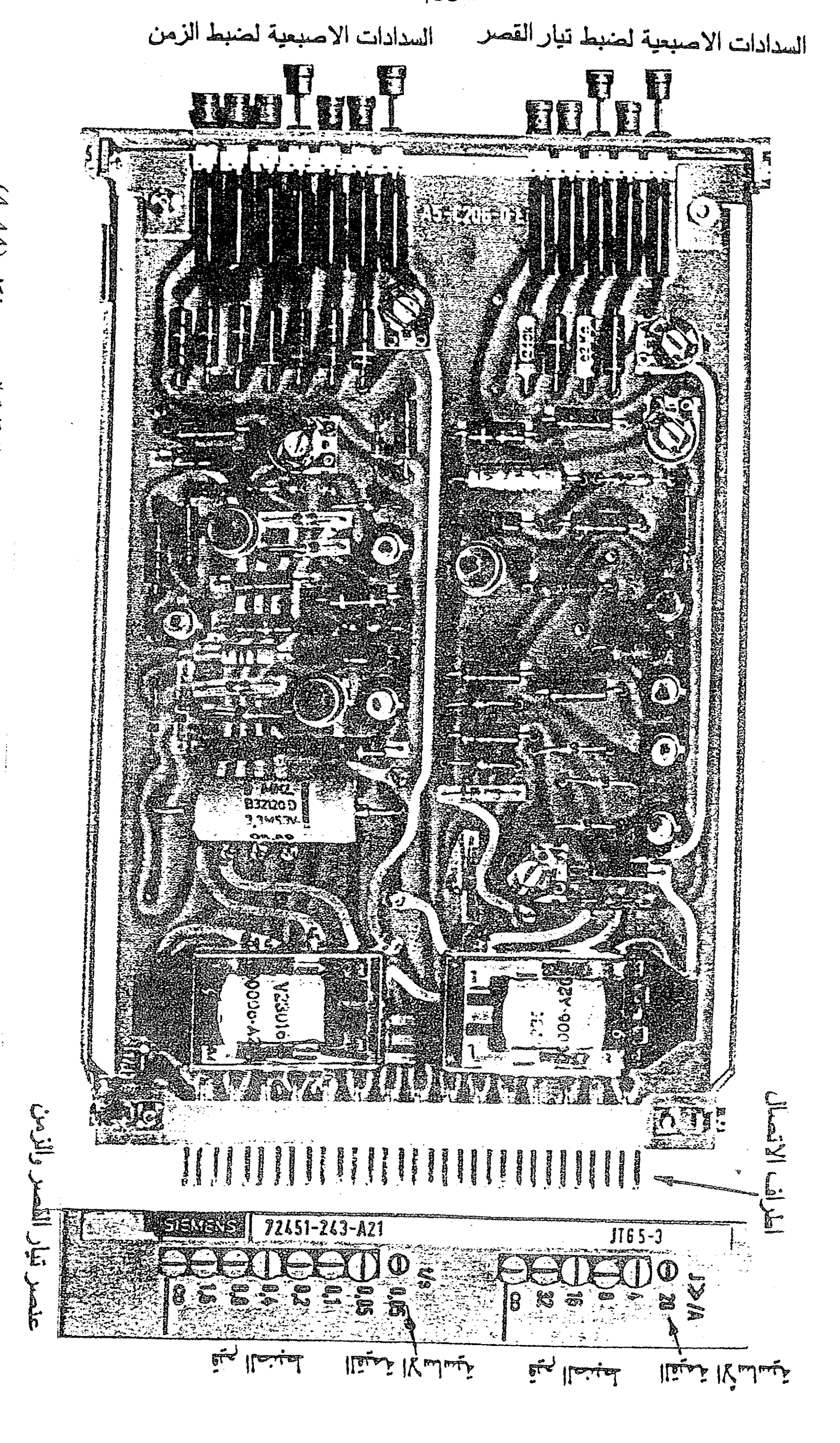
فى هذا العنصر لم تكتب معادلتى الضبط ، ولكن كتبت القيمة الأساسية للمعادلة وهى 20 فى حالة ضبط $I>>$ وتساوى 0.05 فى حالة ضبط t وعلى ذلك فإن ضبط هذا العنصر كالآتى :

$$(I>>) = 20 + 16 + 4 = 40\,A$$

$$(t) = 0.05 + 0.05 + 0.4 = 0.5\ sec.$$

(يلاحظ أن التيار المقنن I_N يساوى واحد أمبير) .

مما سبق يتضح أن فكرة عمل متمم الوقاية ضد زيادة التيار أو ضد التسرب الأرضى ذو التأخير الزمنى المحدد تتلخص فى تحويل التيار المار وقت القصر (أو وقت زيادة التحميل) إلى جهد من خلال مقاومة ومحول تيار مساعد أو من خلال المعاوقة البديلة *(Transactor)* . وبعد توحيد وتنعيم هذا الجهد (والذى أصبح متناسباً مع تيار المدخل للمتمم) ثم يقارن بجهد المرجع . فإذا كان أكبر من جهد المرجع فإن المتمم يبدأ فى الإشتغال وفى نفس اللحظة فإن عنصر المؤقت *(R , C)* يبدأ فى الشحن. علماً بأن الزمن لا يعتمد على قيمة تيار المدخل (العلاقة بين الزمن والتيار ثابتة) ، بينما فى متممات الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى فإن الزمن يتغير تبعاً لتغيير قيمة تيار المدخل ، كما سيتضح فى هذا البند .



شكل (4-46) عنصر الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد لطقم الوقاية الموضح بشكل (4-44)

د) متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى

Inverse-Time Overcurrent Relay

فى متممات الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى ، يتغير جهد المخرج ، المستخدم كمدخل لعنصر الزمن ، مع الزمن عكسياً ، ويتم ذلك بطرق عديدة نذكر بعضها فيما يلى :

يوضح شكل *(4-47)* متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو زمن عكسى ، صناعة أمريكية ـ للتركيب على وجه واحد .

يتكون المتمم من :

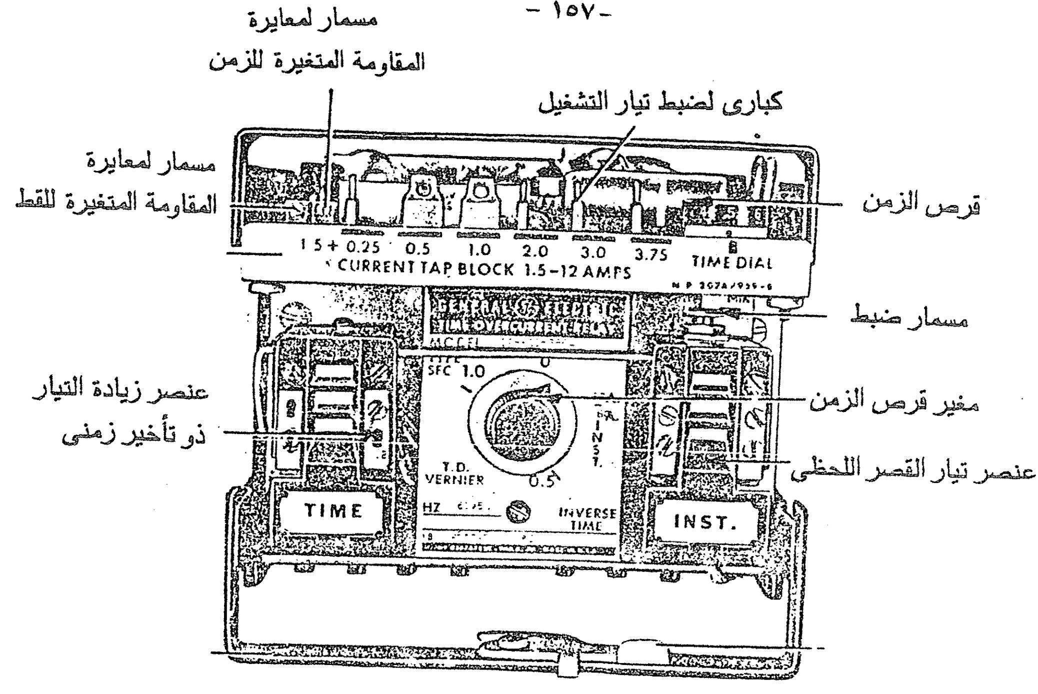
* عنصر وقاية ضد زيادة التيار ذو تأخير زمن عكسى .
* عنصر وقاية ضد تيار القصر اللحظى .
* مقبض *(Knob)* لضبط الزمن من صفر إلى ثانية واحدة .
* قرص للزمن *(Time dial)* مدرج من رقم *1* إلى *10* يعطى دلالة لرقم المنحنى العكسى المستخدم .
* كبارى لضبط قيمة تيار التشغيل (من *1.5 – 12* أمبير) .

يوضح شكل *(4-48)* المكونات الرئيسية لدائرة المتمم والتى تتلخص فى الآتى :

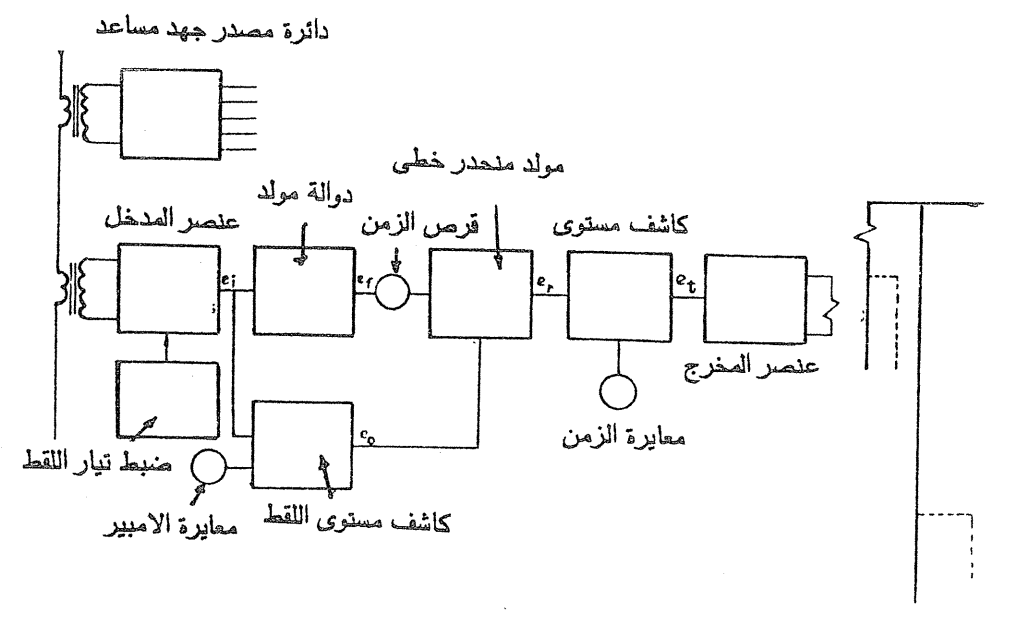
* موحد تيار ومقاومات لضبط قيمة تيار التشغيل .
* مؤقت عبارة عن دالة مولد *(Function generator)* ومولد منحدر خطى *(Linear ramp generator)* ونحصل من المؤقت على خاصية عكسية بين المدخل والزمن.

وتتكون دالة المولد من مكبر تشغيلى *(Operational amplifier)* وديودات وديودات زنير ومنها نحصل على علاقة عكسية بين المدخل والمخرج أى بين e_f ، e_i كما فى شكل *(4-49)* .

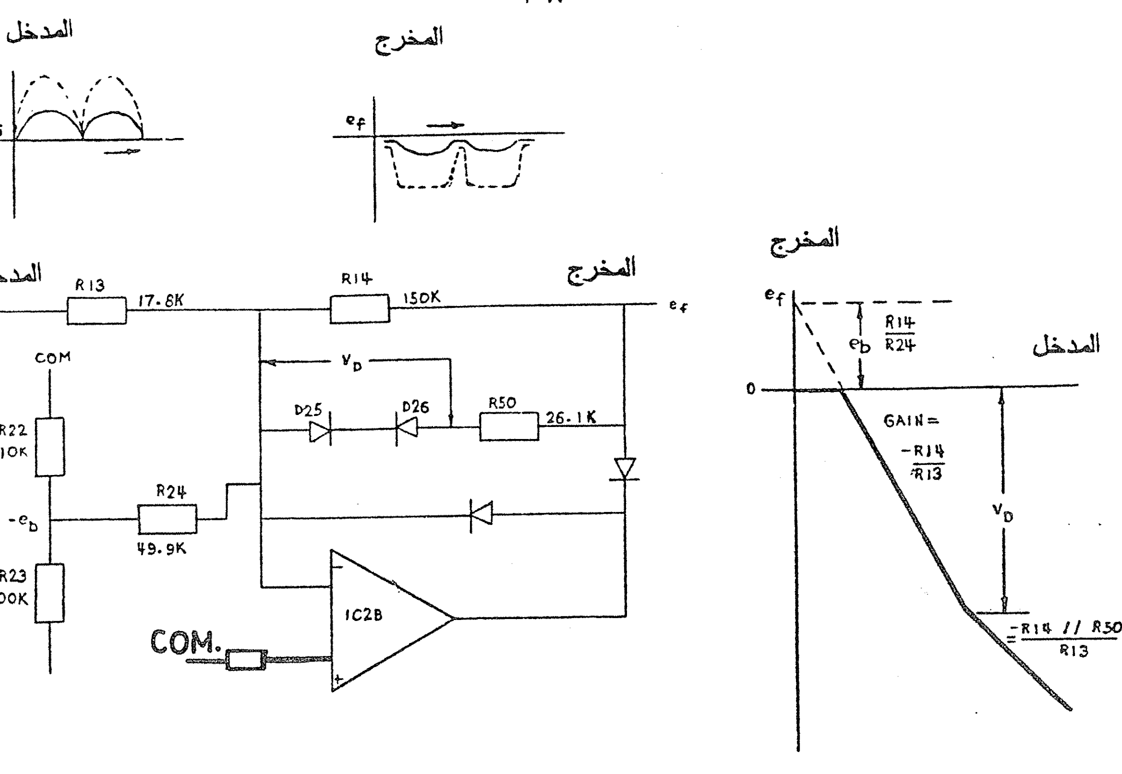
بينما يكون مولد المنحدر الخطى عبارة عن دائرة مكامل *(Integrator circuit)* كما فى شكل *(4-50)* تعمل على تكامل المخرج e_f من دالة المولد . ويمكن التحكم فى



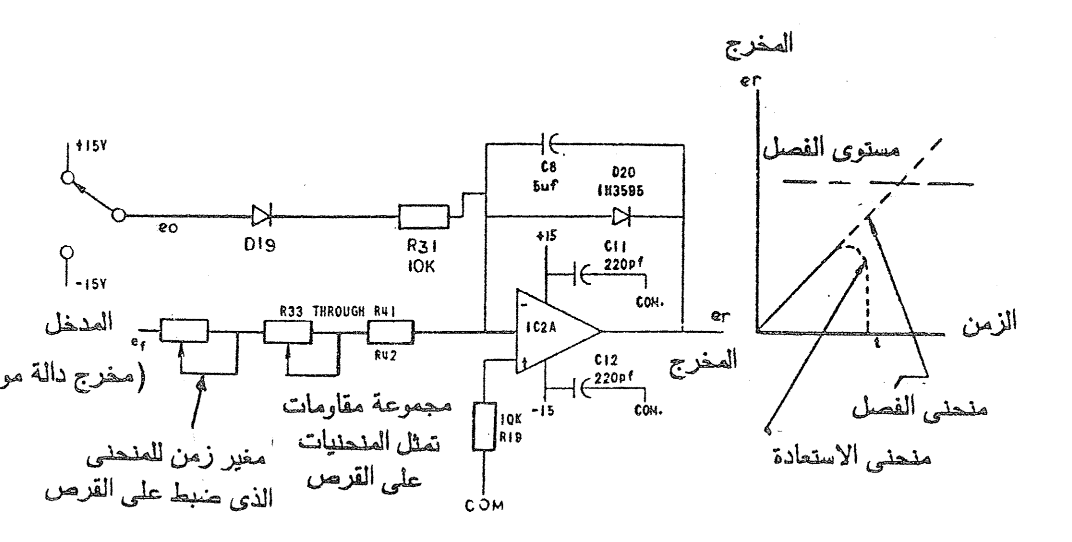
شكل (4-47) متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى من النوع الاستاتيكى



شكل (4-48) المكونات الاساسية لمتمم الوقاية الموضح فى شكل (4-47)



شكل (4-49) العلاقة العكسية لدالة المولد ، بين المدخل e_i والمخرج e_f



شكل (4-50) تكامل المخرج e_f من دالة المولد

الزمن عن طريق مجموعة من المقاومات تمثل بقرص الزمن (Time dial) والتى منها نحدد أى منحنى يعمل مع المتمم وذلك بواسطة مقاومة متغيرة يتم تغيرها بإستخدام مقبض (Knob) ضبط الزمن .

* كاشف مستوى (Level detector) .
* عنصر مخرج .
* مصدر تغذية مساعد عن طريق تحويل التيار المار بالدائرة إلى جهد مرجع $\pm 5.1V$, $\pm 15V$

ويوضح شكل (4-51) منحنيات العلاقة بين مضاعفات تيار التشغيل وبين الزمن ، يقابل كل منحنى رقم خاص بقرص الزمن (Time dial) .

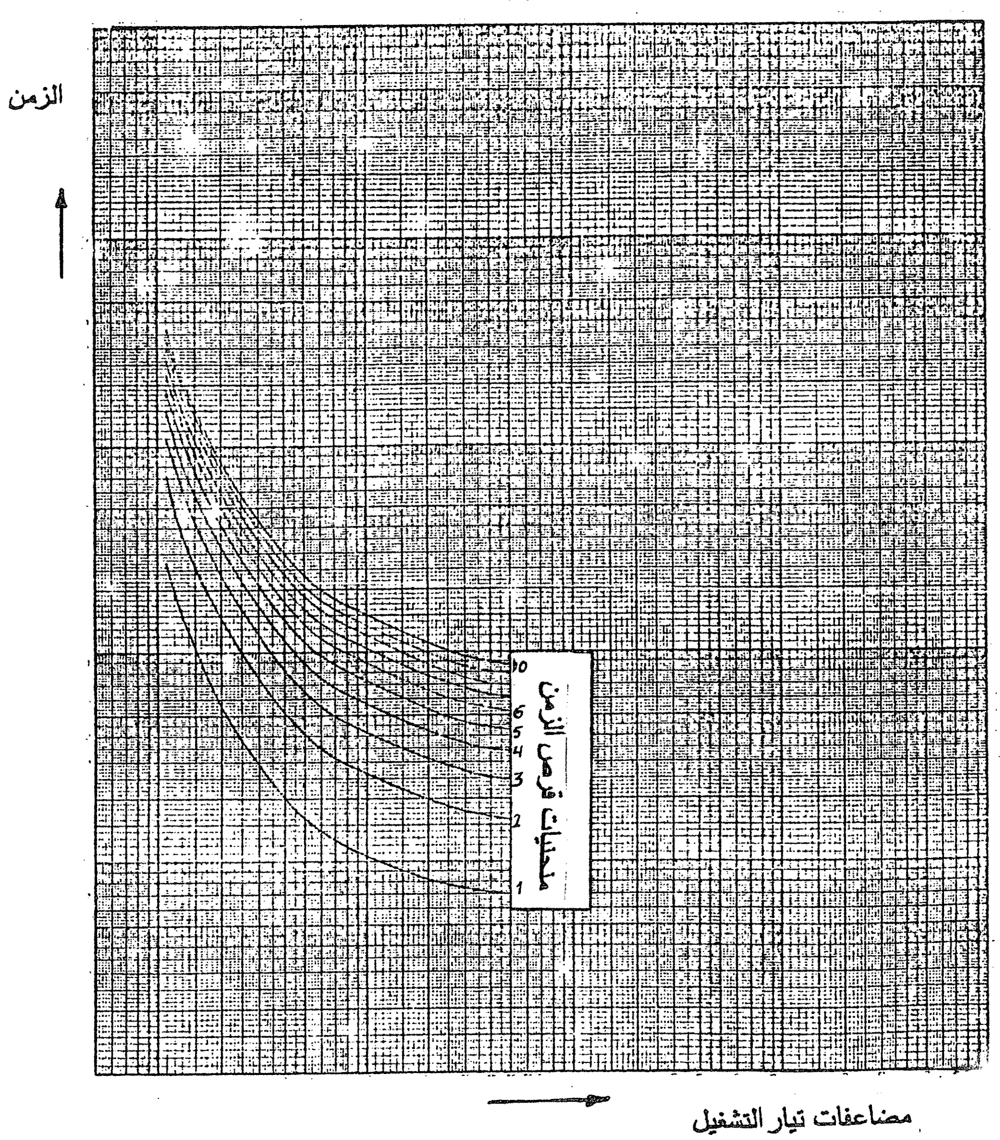
يوضح شكل (4-52) دائرة متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو زمن عكسى بإستخدام مجموعة من ديودات الزنير وبالتحكم فيهم نحصل على مجموعة منحنيات عكسية ويستخدم عادة التيار I لتغذية كل من :

* محول تيار مساعد ذو ثغرة هوائية لتغذية المكونات الأساسية للمتمم .
* محول تيار مساعد قابل للتشبع لتغذية دائرة مصدر جهد مساعد (جهد المرجع) .

وإذا أخذت الحالة الأولية نجد أن الترانزستور T_6 فى حالة فصل (OFF) والترانزستور T_7 فى حالة التوصيل (ON) ويحتفظ الترانزستور T_2 بحالة التوصيل (Conducting) بالكامل وبالتالى يكون المكثف C كدائرة قصر (Shorted) .

وعند مرور تيار أكبر من القيمة المضبوط عليها المتمم فإن الترانزستور T_6 يتحول الى حالة التوصيل بينما يتحول الترانزستورين T_2 , T_7 لحظياً إلى حالة الفصل ، ويبدأ المكثف C فى الشحن خطياً خلال المقاومة R_e والترانزستور T_1 ، ويعتمد التيار المار بالمكثف C على الجهد بين الطرفين P , Q أى بمعنى آخر يعتمد على إختلاف جهدى القاعدة والباعث للترانزستور T_1 والمقاومة R_e .

ويضبط تيار التشغيل للمتمم من خلال سدادات أصبعية على الملفات الثانوية لمحول التيار المساعد . وعن طريق إختلاف الجهد بين أطراف الديودات الزنير Z_{D1} , Z_{D2} , Z_{D3} والمقاومات المتصلة بهم نحصل على ثلاثة منحنيات عكسية مختلفة ،



شكل (4-51) منحنيات العلاقة بين تيار التشغيل والزمن

علماً بأن الغرض من الزنير ديود Z_{D4} هو الحصول على جزء منحنى ذو زمن محدد.

وعندما يكون الزنير ديود Z_{D4} فى حالة توصيل لا تحدث أية زيادة فى قيمة تيار الشحن للمكثف C وبالتالى يصبح تيار التشغيل ثابتاً .

ويوضح شكل *(4-53)* مكونات نوع آخر من متممات الوقاية ضد زيادة التيار ذات الزمن العكسى . ويتكون فيها عنصر الشحن من مكثف وتركيبه من مقاومة خطية ومقاومة غير خطية *(Linear and non-linear resistances)* .

فعند تسليط جهد مستمر *(D.C)* قيمته V على دائرة مكونة من مكثف ومقاومة غير خطية فإن معادلة الجهد تكون :

$$V = V_n + V_C \longrightarrow (1)$$

حيث : V_C الجهد خلال المكثف ويساوى $V_C = q/C$

V_n الجهد خلال المقاومة غير الخطية ويساوى $V_n = K_1 i^{\beta}$

K_1 ثابت

i التيار المار خلال المقاومة غير الخطية

β دليل أو معامل المقاومة غير الخطية *(Non-linear index)*

وتستخدم العلاقات الآتية للمساعدة فى حل المعادلة *(1)* :

$$\therefore q = C V_C$$

$$\therefore \frac{dq}{dt} = C \frac{dV_C}{dt}$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$\therefore i = C \frac{dV_C}{dt}$$

وبالتعويض بالعلاقات السابقة فى المعادلة *(1)* وعمل تكامل للطرفين نحصل

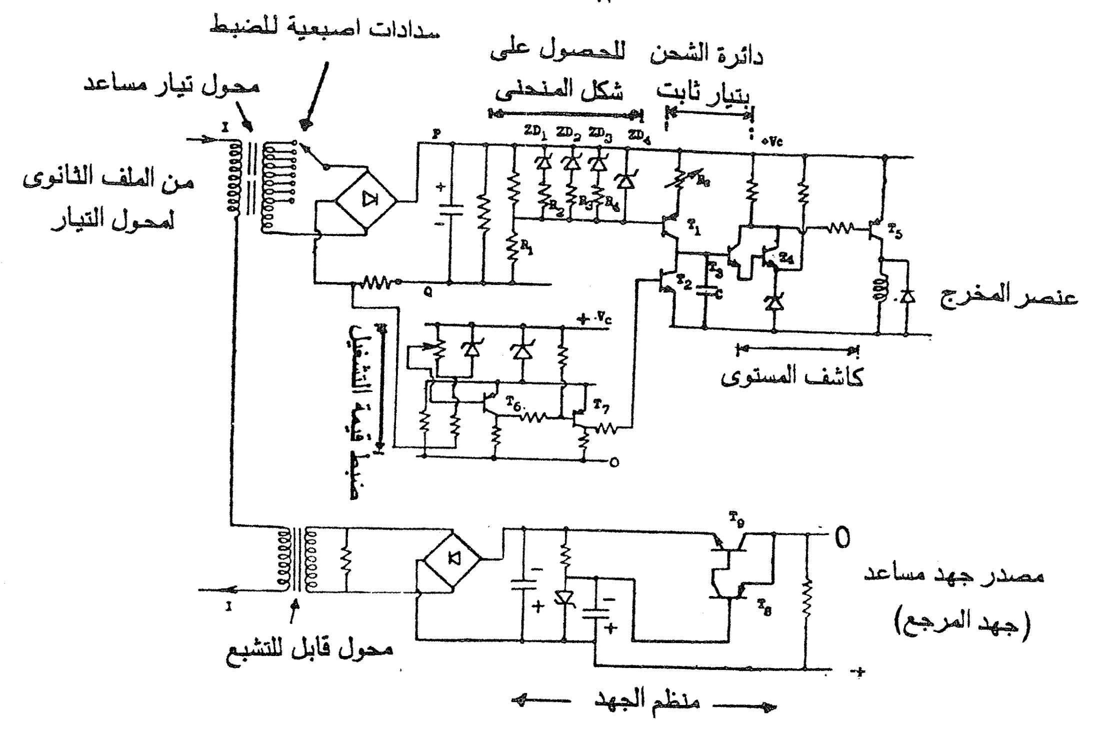
على:

$$V_C = \frac{t}{C} \left[\frac{V}{K_1} \right]^{1/\beta} \quad \longrightarrow \quad (2)$$

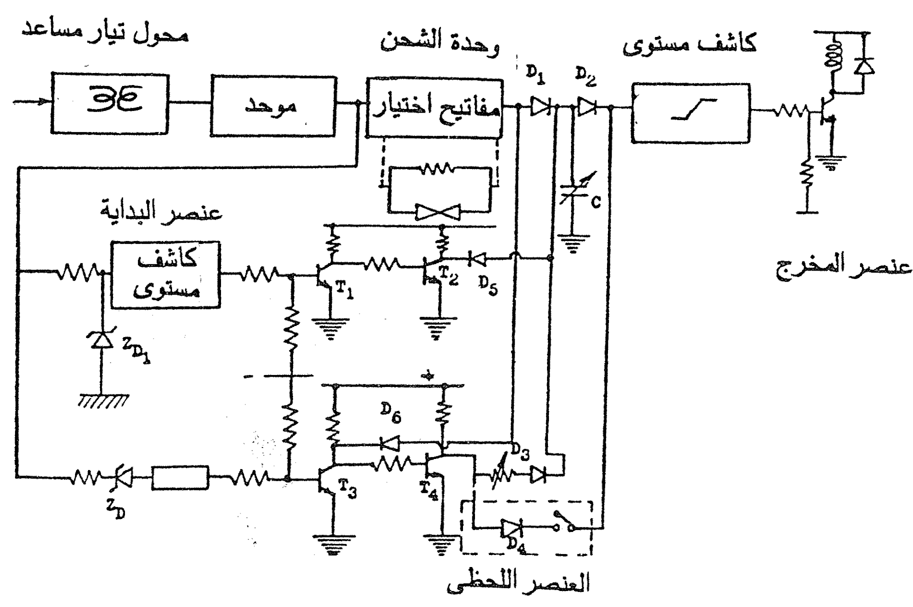
ومن المعادلة *(2)* نحصل على منحنيات عكسية مختلفة وذلك بالتحكم فى قيمة β

يمر التيار I بمحول التيار المساعد *(Transactor)* ويوحد . ثم يبدأ المكثف C فى الشحن من خلال عنصر البداية . وعن طريق مفتاح إختيار *(Selector switch)* يمكن تشغيل المقاومات غير الخطية عند قيم مختلفة للمعامل β وبالتالى الحصول على منحنيات عكسية مختلفة ، ويتم تغيير ضبط الزمن بواسطة تغيير C ، كما يتم التحول من منحنى عكسى إلى منحنى عكسى آخر عن طريق دائرة إطلاق شميت بتحكم زنير ديود *(Zener controlled Schmitt trigger)* ويسمح مخرج دائرة إطلاق شميت للمكثف بالشحن إما من القيمة الثابتة أو المتغيرة للتيار المستمر *(D.C)* معتمداً على ما إذا كان تيار القصر أقل أو أكبر من قيمة الضبط ، وبذلك نحصل على تأخير زمنى محدد أو منحنيات عكسية بين التيار والزمن ، ويمنع الديودان D_1 , D_2 حدوث أى تداخل بين عمل الدائرة للحصول على تأخير زمنى محدد أو عكسى . وعند إشتغال المتمم لحظياً (بدون تأخير زمنى) فإن الديود D_4 ، ومن خلال مفتاح إختيار ، يقوم بتشغيل كاشف المستوى مباشرة . وتتم الإستعادة *(Reset)* عندما يتحول الترانزستور T_2 إلى حالة التوصيل *(ON)* ويتصل بالمكثف C من خلال الديود D_5 . بمعنى آخر فإن الترانزستور T_2 والهبوط الأمامى للديود D_5 يحافظان على أن يكون الجهد المتبقى *(Residual voltage)* خلال المكثف صغيراً . وعندما يلقط عنصر البداية فإن الترانزستور T_1 يتحول إلى حالة التوصيل ، ويتحول الترانزستور T_2 آلياً إلى حالة الفصل ، ويصبح الديود D_5 حيازاً عكسياً ، ويسهل هذا شحن المكثف C .

من المفضل فى بعض متممات الوقاية ضد زيادة التيار إستخدام دائرة الوجه المشطور *(Phase splitter circuit)* بدلاً من قنطرة التوحيد وذلك للتخلص من أى نتوءات *(Ripple)* فى جهد المخرج (والذى يتناسب مع تيار المدخل) ، ويوضح شكل *(4-54)* مكونات دائرة الوجه المشطور .



شكل (52-4) دائرة متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو زمن عكسى



شكل (53-4) دائرة متمم وقاية عند زيادة التيار ذو زمن عكسى

وكما ذكرنا سابقاً فإن العلاقة العكسية بين التيار والزمن تخضع للمعادلة الآتية :

$$I^n t = K$$

حيث : K ثابت

t الزمن

I التيار

n رقم يعتمد على خاصية المتمم ويتغير من صفر إلى 10

وفى متممات الوقاية ضد زيادة التيار الكهرومغناطيسية ذات الزمن العكسى فلا يمكن إستخدام n بقيمة أكبر من 3.5 حتى لا يحدث تشبع للقلب .

بينما بإستخدام دائرة مؤقت تحتوى على عناصر غير خطية أمكن الوصول بالعامل n للقيمة 10 ، فمثلاً بإستخدام الدائرة فى شكل (4-55)أ يمكن تحقيق المعادلة التالية لقيم n حتى 3.5 :

$$I^n t = K$$

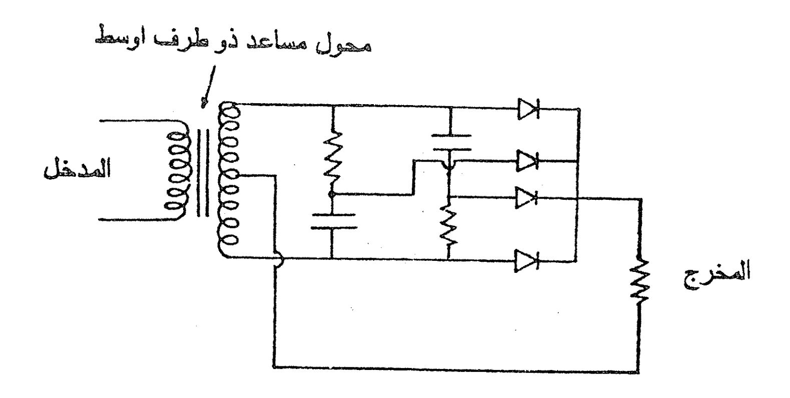
حيث n من صفر وحتى 3.5

بينما بإستخدام الدائرة فى شكل (4-55)ب أمكن تحقيق المعادلة لقيم n أكبر من 3.5 ويلاحظ إحتواء الدائرة على توليفة من مقاومة غير خطية *(Metrosil or non-linear resitor)* ومقاومات ومكثف .

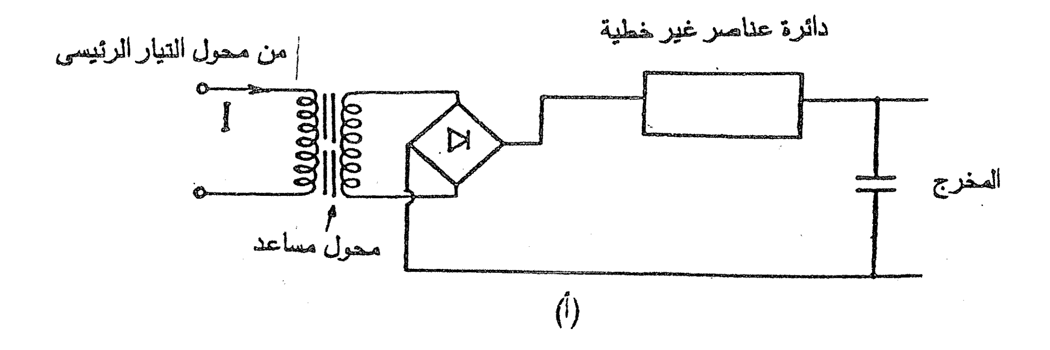
يوضح شكل (4-56)أ متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو زمن عكسى ـ وضد تيار القصر بتأخير زمنى ـ للتركيب على وجه واحد ـ صناعة ألمانى .

كما يوضح شكل (4-56)ب الدائرة المكافئة للمتمم وتتكون من :

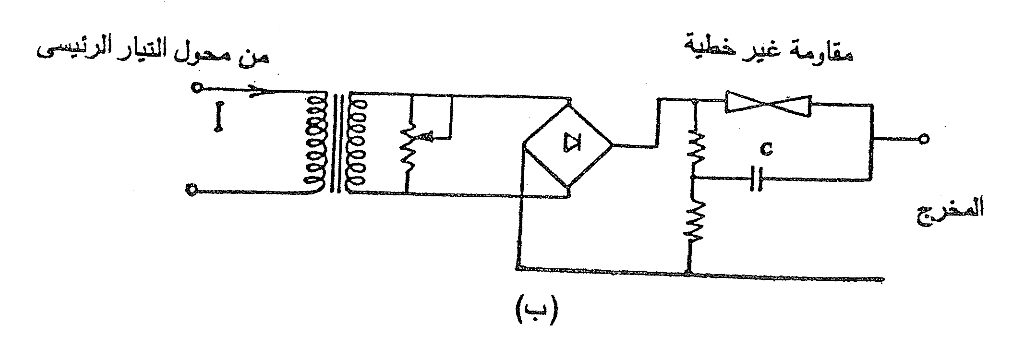
* عنصر المدخل (محول تيار ـ موحدات ـ عنصر للتحويل من تيار إلى جهد) .
* عنصر زيادة التيار ذو الزمن العكسى (كاشف مستوى ـ مؤقت له خاصية عكسية ـ علامة بيان) .
* عنصر تيار القصر ذو تأخير زمنى محدد (كاشف مستوى ـ مؤقت تأخير زمنى محدد حوالى 20 مللى ثانية ـ علامة بيان) .
* عنصر المخرج .



شكل (4-54) دائرة الوجه المشطور

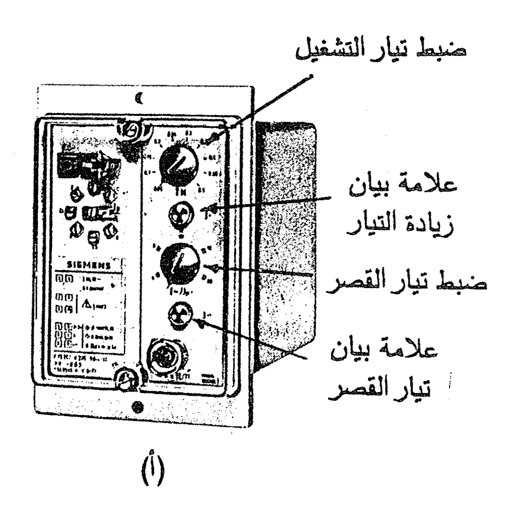


(أ)

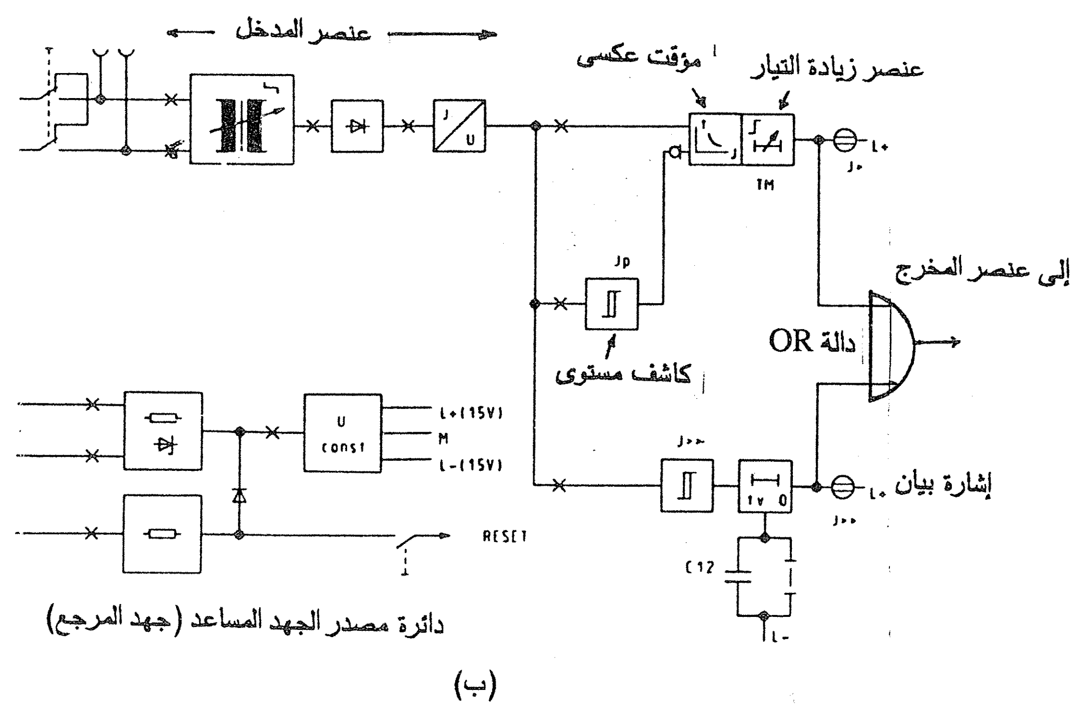


(ب)

شكل (4-55) دوائر مؤقت تحتوى على عناصر غير خطية



(أ)



(ب)

شكل (4-56) متمم وقاية ضد زيادة التيار ذو زمن عكسى وضد تيار القصر بتأخير زمنى

متممات الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسى بإستخدام مكونات خطية

Inverse Time Overcurrent Relay Using Linear Components

فى هذا النوع نحصل على المنحنى العكسى عن طريق مجموعة من منحنيات خطية صغيرة متجاورة عكسية . والمقصود بالمكونات الخطية إحتواء المتمم على دوائر متكاملة *(Integrated circuit)* كما سنوضح فيما يلى .

يتحول تيار مدخل المتمم إلى جهد مستمر *(D.C)* عن طريق محول ذو الثغرة الهوائية *(Transactor)* أو عن طريق محول تيار مساعد ثم يوحد وينعم .

ويشحن مكثف الزمن خطياً من خلال هذا الجهد عن طريق تيار شحن ثابت I_C كجزء من الجهد E وتكون العلاقة بين E , I_C علاقة غير خطية ولكن تتكون من أجزاء خطية عددها n ويخضع المنحنى للمعادلة الآتية :

$$I_C = I_{Cj} + m_j (E - E_j)$$

$$E_j \leq E \leq (E_{j+1})$$

$j = 0$ to $(n-1)$ = عددالأجزاء

وتكون قيمة البداية للجهد E_O تساوى صفر .

وتعرف القيمة I_{Cj} بأنها قيمة I_C عندما $E = E_j$

ويكون m_j هو ميل الجزء j

ويوضح شكل *(4-57)*أ منحنى العلاقة بين E , I_C عندما $n=4$ ، وهونفس المنحنى للعلاقة بين I , I_C (تيار المدخل والذى يتناسب مع E) . ونحصل على إشارة مخرج *(Trip signal)* من المتمم عندما تصل شحنة مكثف الزمن إلى قيمة معينة ثابتة V_O وعلى ذلك فإن زمن التشغيل يتناسب عكسياً مع تيار الشحن. ويوضح شكل *(4-57)*ب منحنى العلاقة بين زمن التشغيل للمتمم وجهد الشحن ، أى منحنى العلاقة t , E . ويتكون من عدد n من الأجزاء كل جزء يخضع للعلاقة العكسية البسيطة

التالية :

$$t = \frac{V_O C}{I_C}$$

$$= \frac{V_O C}{I_{Cj} + m_j (E - E_j)}$$

حيث $E_j \leq E \leq (E_{j+1})$

بفرض الثوابت الآتية :

$$A_j = \frac{V_O C}{m_j}$$

$$B_j = (E_j - I_{Cj} / m_j)$$

تصبح معادلة الزمن :

$$t = \frac{A_j}{E - B_j}$$

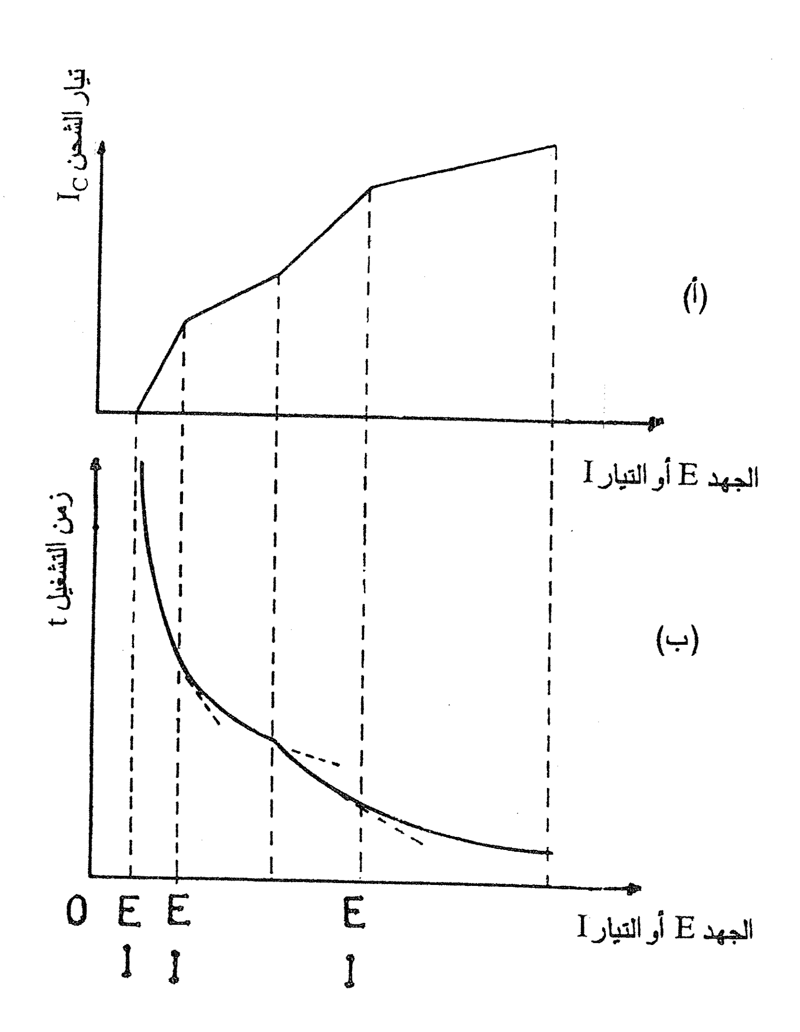
ومنها نحصل على منحنى العلاقة بين الزمن t وتيار التشغيل I (أو الجهد E) وبالتعويض عن $E = KI$ تصبح المعادلة :

$$t = \frac{M_j}{I - N_j} \qquad I_j \leq I \leq (I_{j+1})$$

عدد أجزاء المنحنى = $j = 0 \ to \ (n - 1)$

$$I_O = 0$$

$$M_j = A_j / K = \frac{V_O C}{K m_j}$$



شكل (4-57) منحنى العلاقة بين الجهد أو التيار مع الزمن

$$N_j = B_j / K = \frac{E_j}{K} - \frac{I_{Cj}}{Km_j}$$

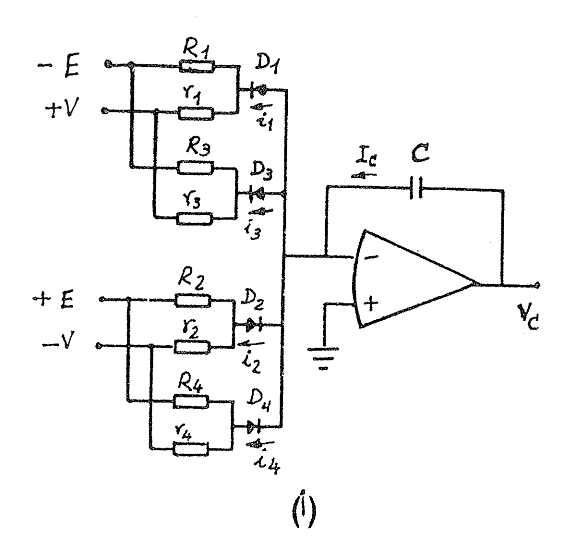
يبدأ إشتغال المتمم عند قيمة معينة للتيار ولتكن I_1 مثلاً ، كما فى شكل *(4-57)*ب . وعلى ذلك يكون تيار الشحن يساوى صفر فى الفترة بين I_0 , I_1 أو بين E_0 , I_1 وتستخدم الدوائر المتكاملة *ICs* (المكبرات التشغيلية *Operational amplifiers*) للحصول على تيار شحن ثابت القيمة ، كما فى شكل *(4-58)* ، وهى تمثل دائرة مكامل *(Integrator)* وذلك للحصول على علاقة غير خطية بين I_C , E .

وتكون معاوقة المدخل *(Input impedance)* للمكبر التشغيلى كبيرة جداً (أو مالانهاية) ، أما تيار الشحن فيساوى محصلة التيارات المارة بالمقاومات . وتكون التيارات الداخلة عبارة عن سلسلة من التيارات موجبة وسالبة . ونحصل من التيار الموجب على جهد مخرج موجب . وينتج كل تيار $(i_1 , i_2 , ...)$ من مركبتين من الجهد أحدهما جهد ثابت $\pm V$ والأخرى جهد متغير القيمة $\pm E$. تتكون دائرة كل تيار من مقاومتين وديود ، ونحصل على التيار عندما يصبح الديود فى حالة حياز أمامى *(Forward-biased)* وذلك عن طريق تسليط قيمة كافية للجهد E . حيث أن طرف مدخل *IC* مؤرض (جهد الأرضى) عن طريق تغذية خلفية سالبة *(Negative feedback)* ، وعندما يصبح جهد الطرف الآخر للديود موجباً (D_1 , D_3) أو سالباً (D_2 , D_4) ، فيؤدى هذا إلى جهد التشغيل *(Breakover)* حيث يتم التحكم فى قيمة جهد التشغيل عن طريق المقاومتين R , r والجهد V (بإهمال هبوط جهد الديود) والذى يخضع للمعادلة :

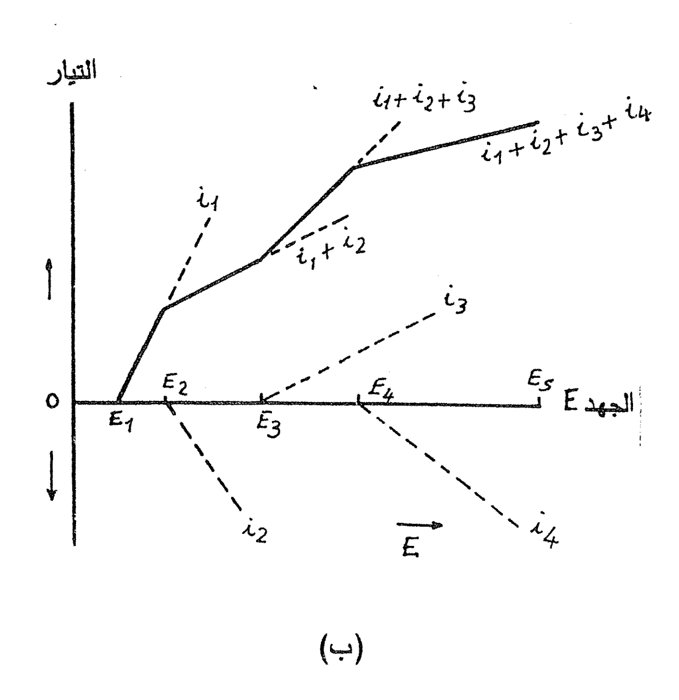
$$E_j = \frac{R_j}{r_j} V \qquad j = 1 \text{ to } (n-1)$$

بينما تكون معادلة التيار :

$$i_j = \frac{1}{R_j} (E - E_j) \qquad E_j \leq E \leq (E_{j+1})$$



(أ)



(ب)

شكل (4-58) استخدام الدوائر المتكاملة للحصول على تيار شحن ثابت القيمة

« الوقاية ـ ٢ »

من شكل $(4\text{-}58)$ فإن i_1 , i_3 موجبة أما i_2 , i_4 سالبة ويكون تيار الشحن مساوياً محصلة هذه التيارات ويساوى :

$$I_C = 0 \qquad 0 \le E \le E_1$$

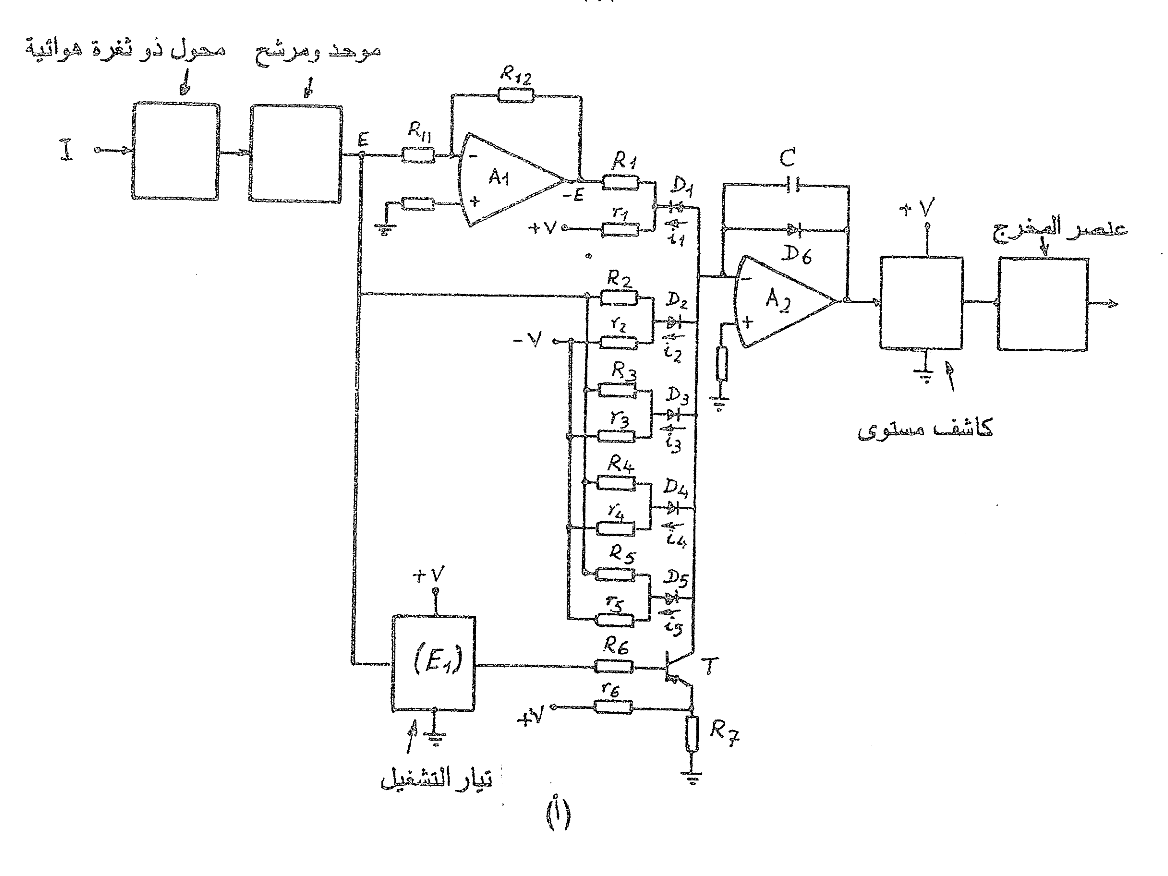
$$= i_1 = \frac{E}{R_1} - \frac{E_1}{R_1} \qquad E_1 \le E \le E_2$$

$$= i_1 + i_2 = E\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) - \left(\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}\right) \qquad E_2 \le E \le E_3$$

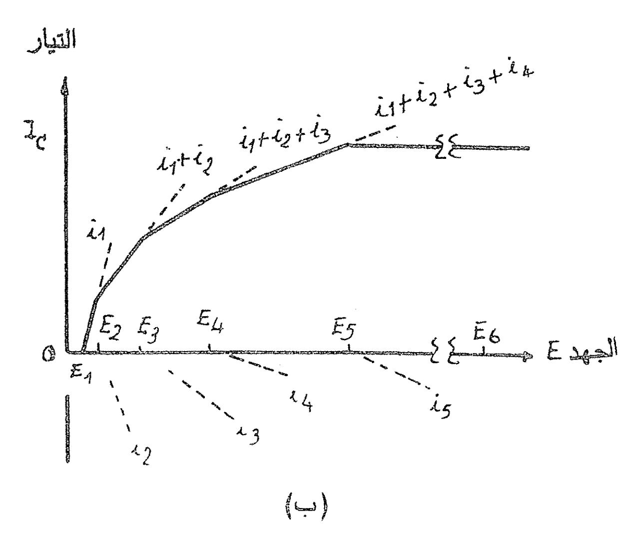
....

....

يوضح شكل $(4\text{-}59)$أ مكونات دائرة كاملة لمتمم وقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن العكسى بإستخدام دوائر متكاملة *(ICs)* (وهو ما يعرف بمتمم الوقاية ضد زيادة التيار ذى الزمن العكسى المحدد بقيمة صغرى *(Inverse definite minimum time)* ويرمز له بالرموز *IDMT*) . حيث يتحول تيار المدخل I إلى جهد مستمر E بمروره على المكبر التشغيلى A_1 يصبح E- ويغذى دائرة مكامل A_2 . ويستخدم الجهد الثابت $\pm V$ كجهد مرجع للدائرة . وفكرة الحصول على منحنى عكسى بين تيار المدخل والزمن هى نفس التوضيح فى شكل $(4\text{-}58)$. ويعمل كاشف المستوى عندما يتعدى جهد المكثف V_C قيمة ضبط كاشف المستوى ثم نحصل على إشارة مخرج . ويوضح شكل $(4\text{-}59)$ب منحنى العلاقة بين I , E .



(أ)



(ب)

شكل (4-59) دائرة متمم رقابة ضد زيادة التيار ذو الزمن العكسي باستخدام دوائر متكاملة

« الوقاية ـ ٢ »

الباب الخامس
الوقاية ضد زيادة وإنخفاض الجهد

OVERVOLTAGE AND UNDERVOLTAGE PROTECTION

تغذى متممات الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد من الملفات الثانوية لمحولات الجهد . وتعمل ملفات المتمم بجهد مقنن *100* أو *110* أو *220* ڤولت تيار متردد *(A.C)* . وفى متممات الوقاية الاستاتيكية يضاف محول (أو محولات) جهد مساعد *(Auxiliary Voltage Transformer)* لتخفيض قيمة الجهد المقنن إلى قيمة مناسبة لتغذية الدوائر الالكترونية .

وفيما يلى توضيح لأنواع متممات الوقاية ضد زيادة وإنخفاض الجهد .

أ) متممات الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد الكهرومغناطيسية :

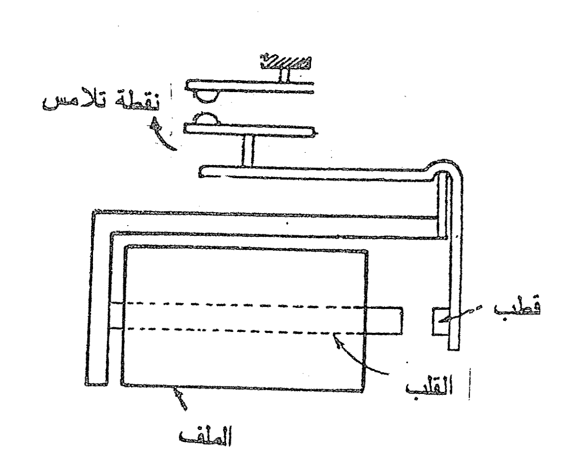
هناك أنواع متعددة من هذه المتممات ومن ذلك :

* متمم وقاية ذو حافظة مفصلية *(Hinged armature type relay)* ويعمل لحظياً ، كما هو مبين فى شكل *(5-1)*
* متمم وقاية ذو جزء حديدى متحرك *(Moving iron type relay)* ويعمل لحظياً ، كما هو مبين فى شكل *(5-2)*

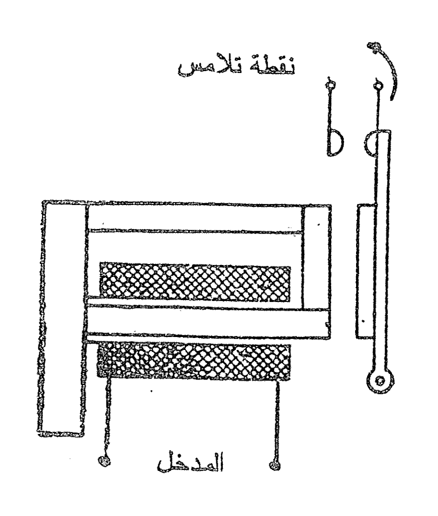
ويوضح شكل *(5-3)* طريقتين لتوصيل محولات الجهد ، أحدهما توصيلة نجمة مؤرضة للحصول على جهد ثانوى ثلاثى الأوجه ، والأخرى توصيلة دلتا للحصول على قيمة جهد عدم الإتزان للأوجه الثلاثة .

وفيما يلى أمثلة لمتممات الوقاية ضد الجهد :

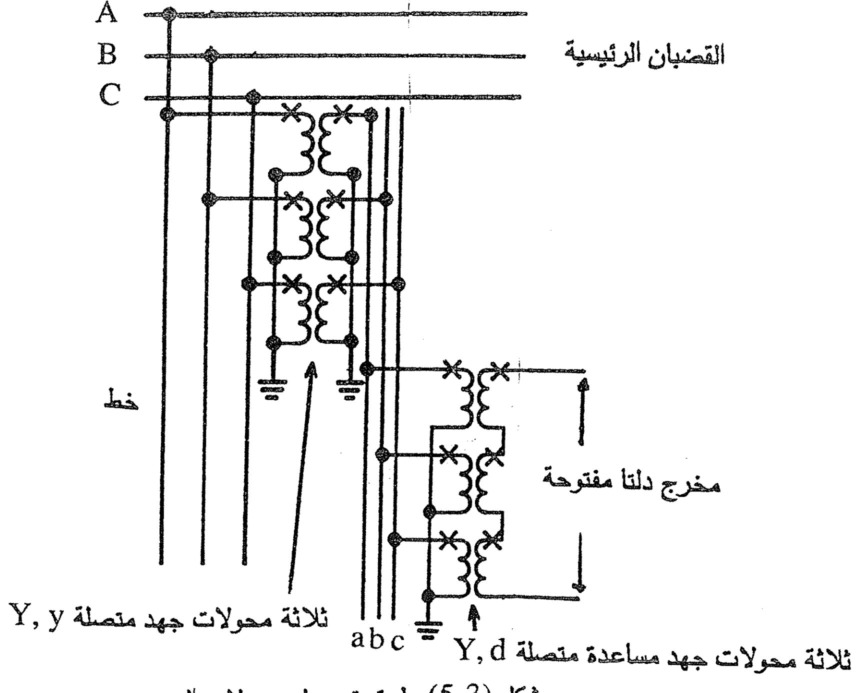
1) مثمم وقاية ضد زيادة الجهد ـ صناعة سويسرية ـ حسب المبين فى شكل *(5-4)* أ ـ ويتضح من لوحة بيان المتمم أنه يعمل بجهد مقنن V_n يساوى *220* ڤولت وتردد *50* هرتز وحدود ضبط المتمم من *1* إلى *2* من قيمة الجهد المقنن V_n . ويركب على وجه واحد *(Single Phase)* . وهذا المتمم ذو جزء حديدى متحرك ويعمل لحظياً



شكل (5-1) متمم وقاية ذو حافظة مفصلية



شكل (5-2) متمم وقاية ذو جزء حديدى متحرك



شكل (5-3) طرق توصيل محولات الجهد

(Instantaneous moving-iron relay) ويحتوى على :

نقط تلامس (إما وضع الفتح أو القفل) ـ مجموعة مقاومات على التوالى مع ملف الجهد للتغلب على حالة التشغيل المستمر للملف تجنباً لحدوث إرتفاع فى درجة حرارة الملف منعاً للتلف .

ويوضح شكل *(5-4)*ب الرسم التوضيحى للمتمم .

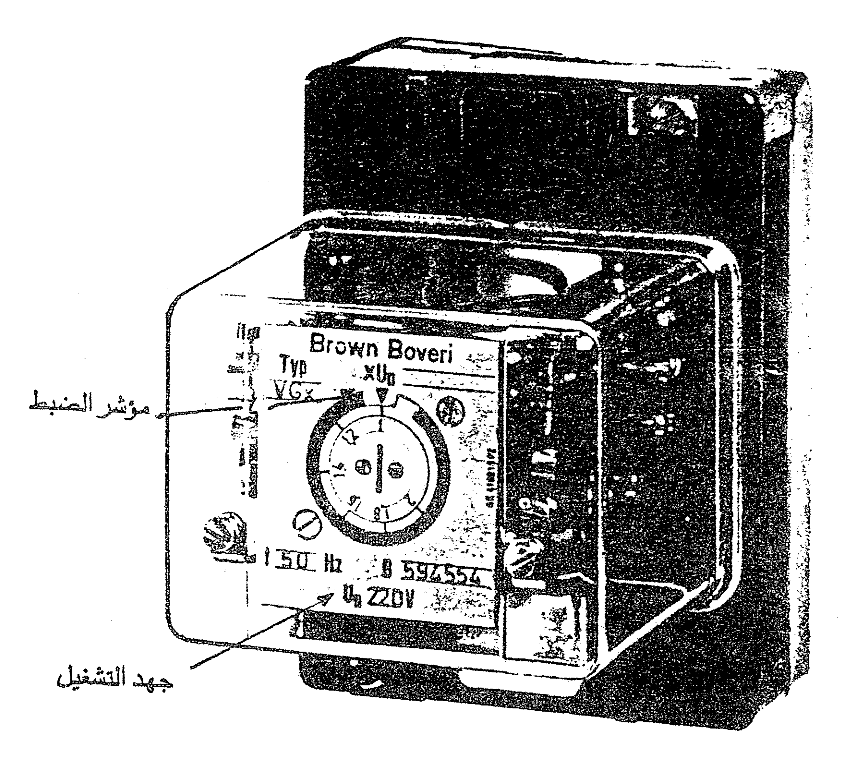
2) متمم وقاية ضد زيادة الجهد ذى تأخير زمنى ـ صناعة سويسرية ـ حسب المبين بشكل *(5-5)* ـ ويعمل المتمم بجهد مقنن V_n يساوى *100* أو *110* ڤولت وتردد *50* هرتز . والمتمم من نوع ذى الحافظة المنفصلية *(Hinged armature)* ويحتوى على مؤقت ذى محرك متزامن *(Synchronous motor)* له حدود ضبط من *0.2* إلى *10* ثانية . ويركب المتمم على وجه واحد *(Single phase)* .

وإذا لزم الأمر لتركيب متممات وقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد على الثلاثة أوجه *(3-phase)* فيمكن إستخدام ثلاثة متممات (متمم لكل وجه) وتغذيتهم بالجهد الثانوى لمحولات الجهد (لاحظ شكل *(5-3)*) .

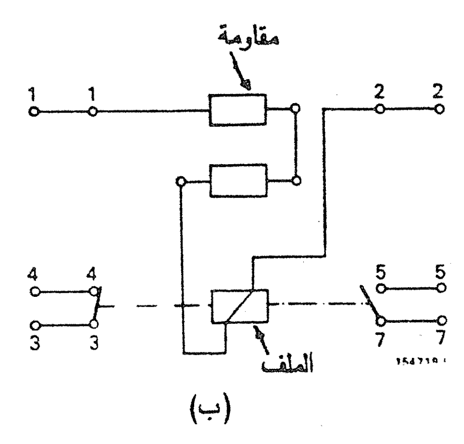
ب) متممات الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد الاستاتيكية :

يتكون متمم الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد ذى الزمن اللحظى من دائرة إطلاق شميت *(Schmitt trigger)* أو دائرة كاشف مستوى *(Level detector)* (يعمل عند بلوغ الجهد مستوى معين) ، وعنصر مدخل عبارة عن محول جهد مساعد وقنطرة توحيد ، ثم مقاومة متغيرة لضبط قيمة تشغيل المتمم ، كما هو موضح فى شكل *(5-6)* .

ويوضح شكل *(5-7)* دائرة متمم وقاية ضد زيادة الجهد اللحظى . وفيها تتكون دائرة إطلاق شميت من الترانزستورين T_1 , T_2 . فى حالة التشغيل العادى (أى أن قيمة جهد المدخل تساوى الجهد المقنن) يكون الترانزستورين T_1 , T_3 فى حالة فصل، بينما الترانزستور T_2 فى حالة توصيل . وعند حدوث زيادة فى الجهد بحيث تتعدى قيمته ، بعد عملية التوحيد ، قيمة جهد كاشف المستوى V_L (المحددة بالزنير ديود Z_D) وعندئذ يتحول الترانزستور T_1 لحالة التوصيل ، وبالتالى يمد ملف عنصر

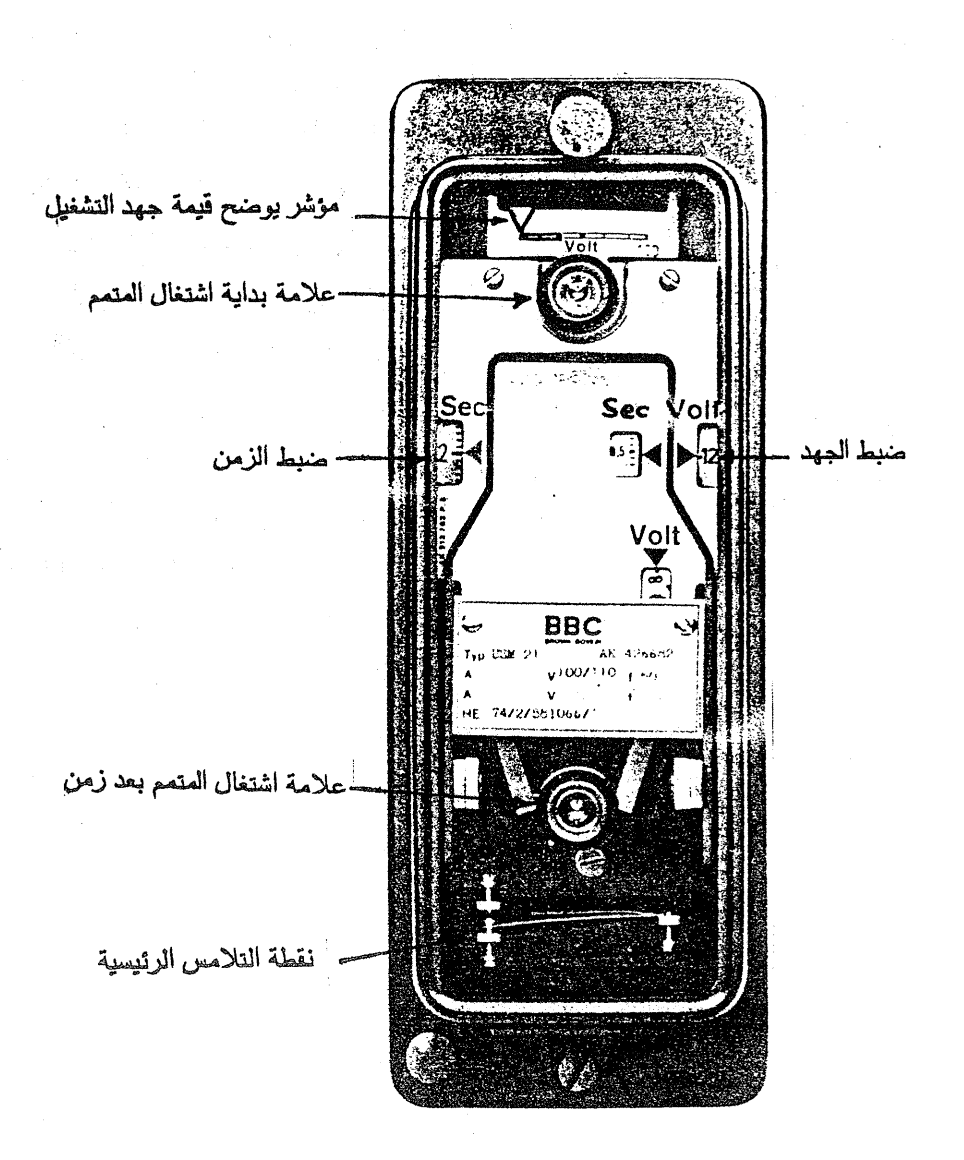


(أ)



(ب)

شكل (4-5) متمم وقاية ضد زيادة الجهد



شكل (5-5) متمم وقاية ضد زيادة الجهد ذى تأخير زمنى

المخرج بجهد تشغيله نتيجة تحول الترانزستور T_3 لحالة التوصيل .

ويوضح شكل (5-8) دائرة متمم وقاية ضد إنخفاض الجهد اللحظى ، وفى حالة التشغيل العادى يكون جهد المدخل مساوياً الجهد المقنن ، والذى يصبح V_{in} بعد التوحيد ويسلط على المقاومة R_X والتى بدورها تحفظ الترانزستور T_1 فى حالة الفصل (بشرط أن يكون V_{in} أكبر من جهد حياز المقاومتين R_1 , R_2) .

وعند إنخفاض قيمة جهد المدخل إلى قيمة ضبط المتمم ، فإن الترانزستور T_1 يتحول الى حالة التوصيل ، وبالتالى يمد ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله نتيجة تحول الترانزستور T_3 لحالة التوصيل .

تستخدم الدوائر المتكاملة *(ICs)* بتوسع فى متممات الوقاية ضد زيادة الجهد التى تعمل لحظياً ، كما فى شكل (5-9) ، يسلط جهد مرجع *(Reference voltage)* على الطرف 2 للمكبر التشغيلى والذى نحصل عليه من مقاومة خطية متغيرة متصلة على التوازى مع زنير ديود Z_{D2} .

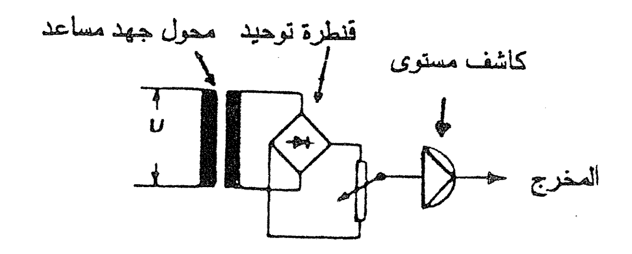
فى حالة التشغيل العادية يكون جهد المدخل V_{in} أقل من جهد المرجع (يسلط الجهدان على الطرف (2) للمكبر التشغيلى) وبذلك يكون الترانزستور T فى حالة حياز عكسى . وعند إرتفاع قيمة الجهد بحيث يتعدى قيمة المرجع نحصل على مخرج من المكبر التشغيلى فيتحول الترانزستور T إلى حالة التوصيل ، أى يمد ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله .

يلاحظ فى الدوائر السابقة ، إستخدم المكثف C لتنعيم موجة المدخل V_{in} بعد عملية التوحيد .

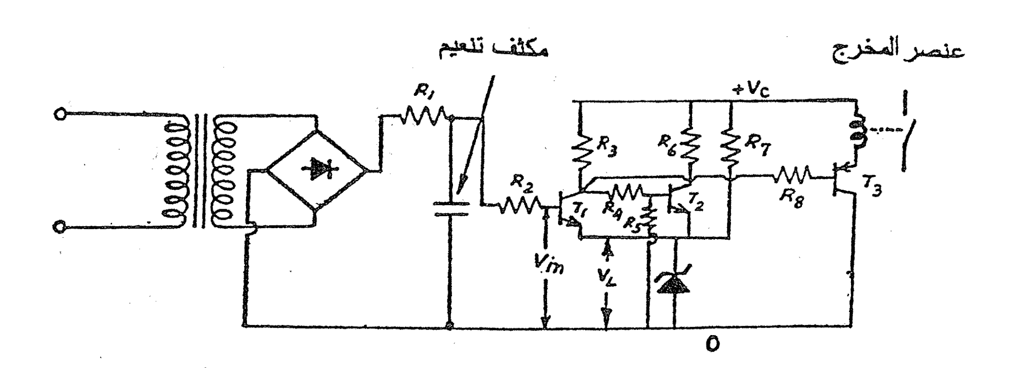
وفى متممات الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد ذات تأخير زمنى محدد فإنه يضاف دائرة مؤقت *R-C* مثلاً ، كما ذكرنا فى باب المؤقتات .

وفى هذه المتممات تكون نسبة الإستعادة *(Reset ratio)* عالية ، وهى النسبة بين قيمة الإستعادة إلى قيمة التشغيل للمتمم ، والتى تكون حوالى 97% فى الوقاية ضد زيادة الجهد ، وحوالى 103% فى الوقاية ضد إنخفاض الجهد .

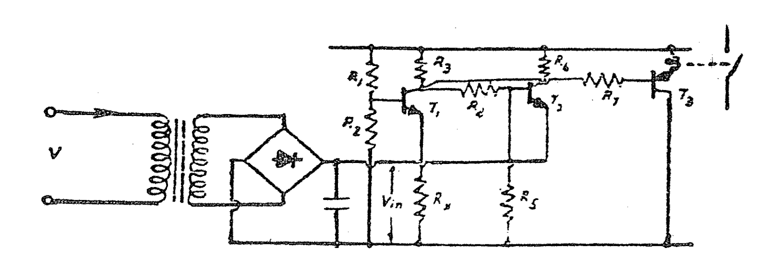
ويمثل متمم الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد - أحادى الوجه - حسب المبين



شكل (5-6) فكرة متمم الوقاية ضد إنخفاض أو إرتفاع الجهد من النوع الاستاتيكى



شكل (5-7) متمم وقاية ضد زيادة الجهد اللحظى الاستاتيكى



شكل (5-8) متمم وقاية ضد زيادة الجهد اللحظى الاستاتيكى

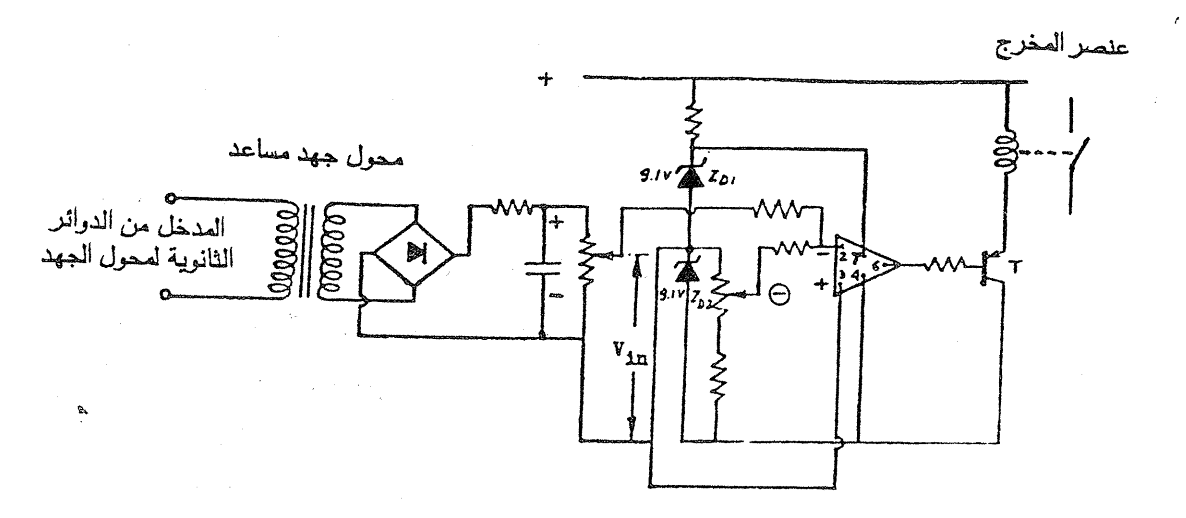
فى شكل *(5-10)* ويلاحظ إحتواء الدائرة على ديود لحماية قطبية جهد المدخل *(Polarity protection)* عند حدوث عكس قطبية مثلاً . ويقارن جهد المدخل بجهد المرجع ويعمل كاشف المستوى والمكبر على تغذية ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله، ويتم ضبط قيمة التشغيل عن طريق مقاومة متغيرة .

يمكن أن يعمل متمم الوقاية ضد إنخفاض وزيادة الجهد معاً ، بحيث نحصل على إشارة مخرج عند حدوث زيادة فى الجهد ، وكذلك إشارة مخرج عند حدوث إنخفاض فى الجهد ، حسب الموضح فى الشكل *(5-11)* ، وتكون خصائص المتمم كالآتى :

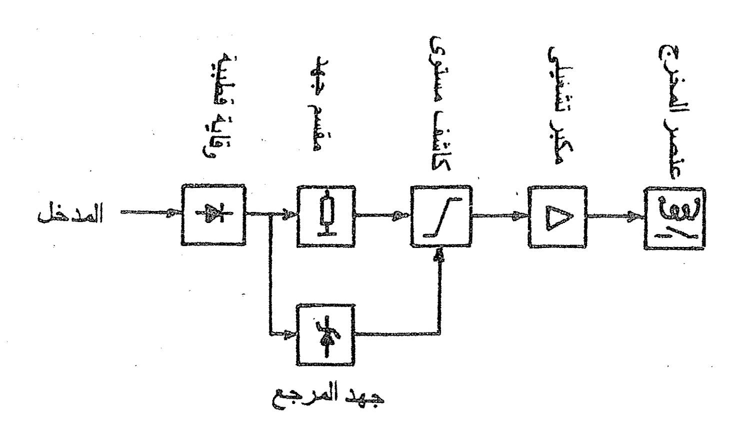
* حدود ضبط إنخفاض الجهد : *80 - 90%* من قيمة الجهد المقنن .
* حدود ضبط زيـــادة الجهد : *105 - 120%* من قيمة الجهد المقنن .
* زمـــن التشغيـــــــل : *160* مللى ثانية .
* نسبة الإستعادة (لزيـــادة الجهد) : *98 - 99%*
* نسبة الإستعادة (لإنخفاض الجهد) : *101 - 102%*
* الـــدقـــــــــــة : *±1%* عند درجة حرارة محيطة تتغير من *5 ℃ - 50 ℃*
* جهد المرجع (المساعد) : *20 - 30* ڤولت *D.C*
* القدرة المستهلكة فى دائرة القياس للمتمم : *0.2* ڤولت أمبير عند *220* ڤولت .
* القدرة المستهلكة للدائـــرة المسـاعـــدة : *3.8* وات عند *24* ڤولت *D.C*

يحتوى متمم الوقاية ضد زيادة وإنخفاض الجهد ثلاثى الأوجه على ثلاثة عناصر مدخل كل عنصر يتكون من محول مساعد وقنطرة توحيد ودائرة تنعيم . يغذى مخرج عناصر المدخل دائرتى ديود *(Diode circuit)* أحدهما فى مسار جزء المتمم الخاص بزيادة الجهد والأخرى للجزء الخاص بإنخفاض الجهد . ويكون الغرض من دائرة الديود أنها تعمل كدالة *OR* فى حالة التشغيل (أو اللقط) بينما تعمل كدالة *AND* فى حالة الإستعادة . وعند حدوث زيادة فى الجهد فإن المتمم يعمل بأعلى قيمة للجهد فى أحد الأوجه ، ولكن لحدوث إستعادة للمتمم يجب أن يصل جهد الثلاثة أوجه إلى قيمة أقل من قيمة الضبط للمتمم (ويكون عكس ذلك عند حدوث إنخفاض فى الجهد) .

يعمل المتمم بكفاءة عند حدوث جميع الحالات الآتية :



شكل (5-9) متمم وقاية ضد زيادة الجهد بإستخدام الدوائر المتكاملة



شكل (5-10) تمثيل متمم الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد - أحادى الوجه

* زيادة أو إنخفاض الجهد المتماثل *(Symmetrical)*
* زيادة أو إنخفاض الجهد غير المتماثل *(Asymmetrical)*
* حدوث فتح فى أحد الأوجه *(Phase open)*

يوضح شكل *(5-12)* مكونات متمم ثلاثى الأوجه ضد زيادة وإنخفاض الجهد بينما يوضح كل من شكلى *(5-13)*أ،ب دائرة الديود فى حالتى متمم الوقاية ضد زيادة وإنخفاض الجهد .

فيما يلى أمثلة تطبيقية على متممات الوقاية ضد إنخفاض الجهد .

أ) يوضح شكل *(5-14)* متمم وقاية ضد إنخفاض الجهد ـ أحادى الوجه ـ صناعة ألمانى ـ خصائصة كالتالى :

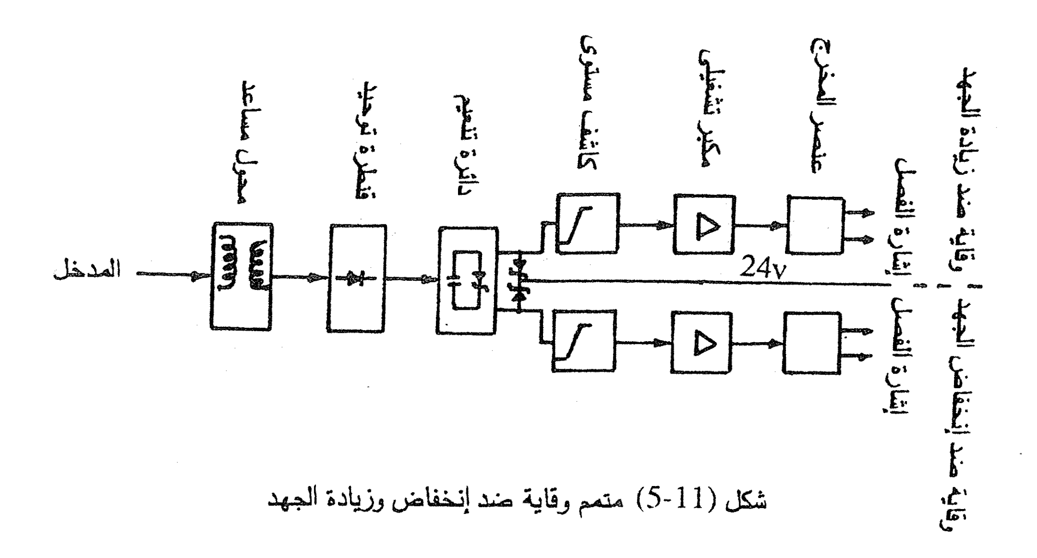
* الجهد المقنن V_n : *100* ڤولت .
* التـــــــردد : *50* هرتز .
* حدود الضبـــط : *0.45 - 0.9* من قيمة الجهد المقنن .
* يحتوى المتمم على علامة بيان .

ب) يوضح شكل *(5-15)* متمم وقاية ضد إنخفاض الجهد ـ ثلاثى الأوجه ـ صناعة سويسرية . خصائصه كالتالى :

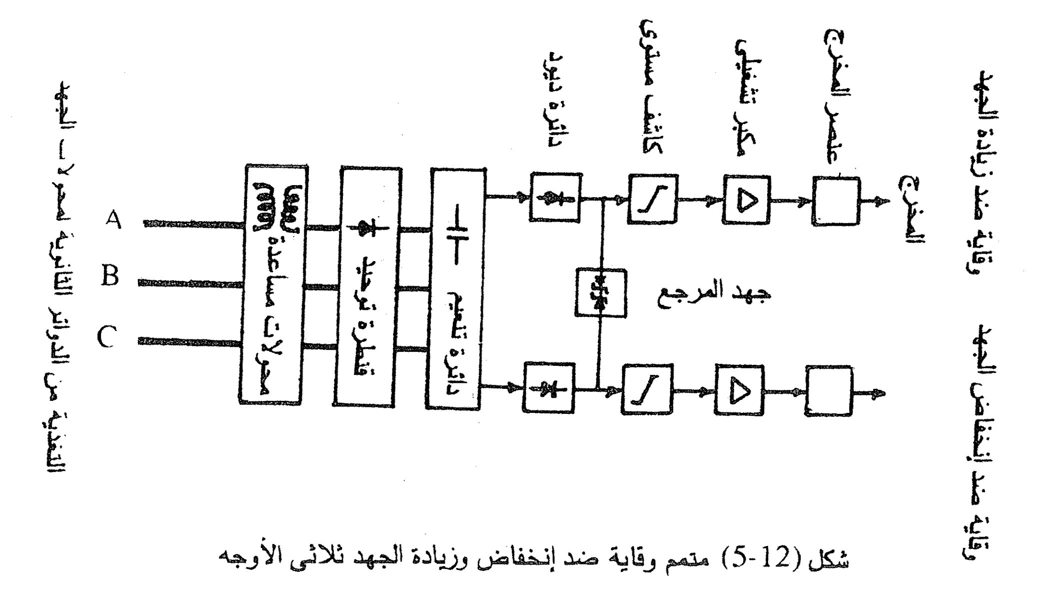
* الجهد المقنن V_n : *220 / 380* ڤولت .
* التـــــــردد : *50 - 60* هرتز .
* حدود الضبـــط : *65% - 90%* من قيمة الجهد المقنن .

ويوضح شكل *(5-16)* مكونات الدائرة حيث تتكون من عدد أربعة محولات مساعدة T_2 , T_3 , T_4 كمدخل للثلاثة أوجه ، بينما T_1 يستخدم للحصول على جهد مساعد *(D.C)* لتغذية الدوائر الاستاتيكية ـ موحدات تيار ـ دوائر تنعيم ـ دالة *AND* ـ كاشف مستوى ـ مكبر تشغيلى ـ عنصر مخرج .

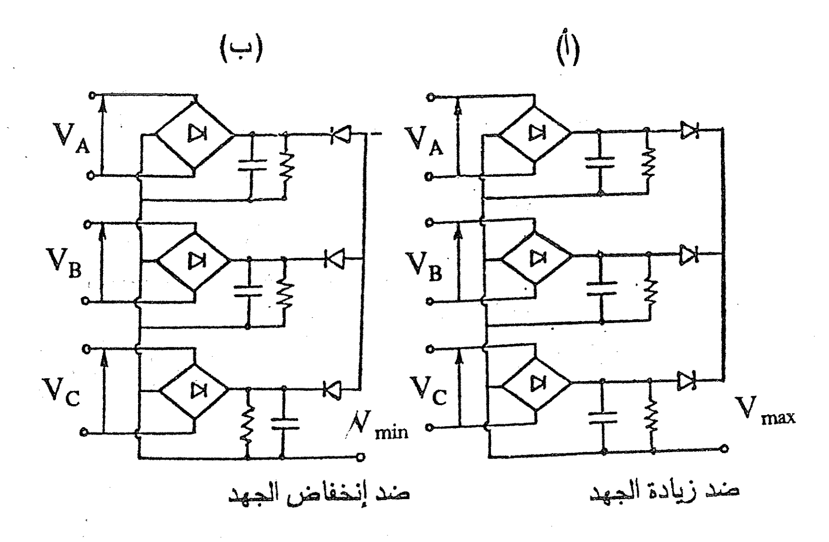
ويغذى المتمم من نظام مؤرض *(Earthed)* أو نظام غير مؤرض *(Unearthed)* ، أى يمكن تغذيته من مصدر ثلاثى الأوجه مؤرض ، كما فى شكل *(5-17)*أ أو تغذيته من ثلاثة أوجه لنظام غير مؤرض كما فى شكل *(5-17)*ب .



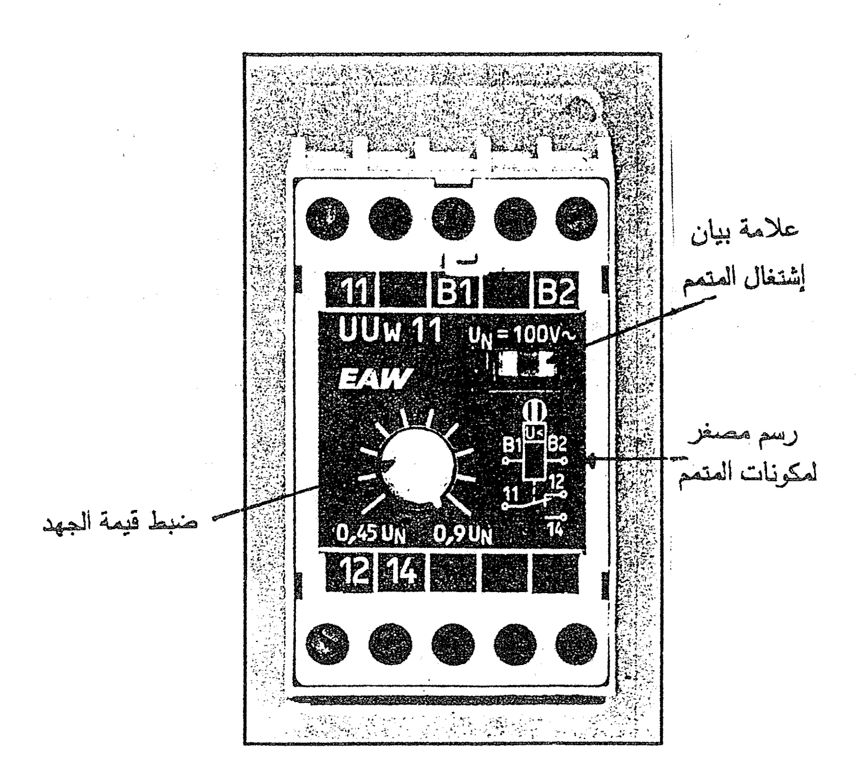
شكل (5-11) متمم وقاية ضد إنخفاض وزيادة الجهد



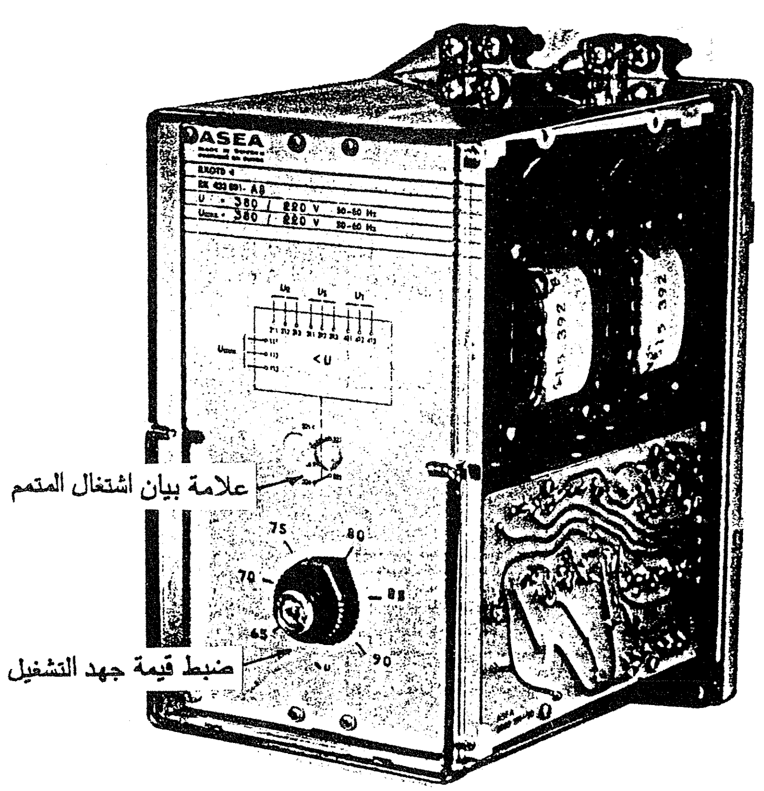
شكل (5-12) متمم وقاية ضد إنخفاض وزيادة الجهد ثلاثى الأوجه



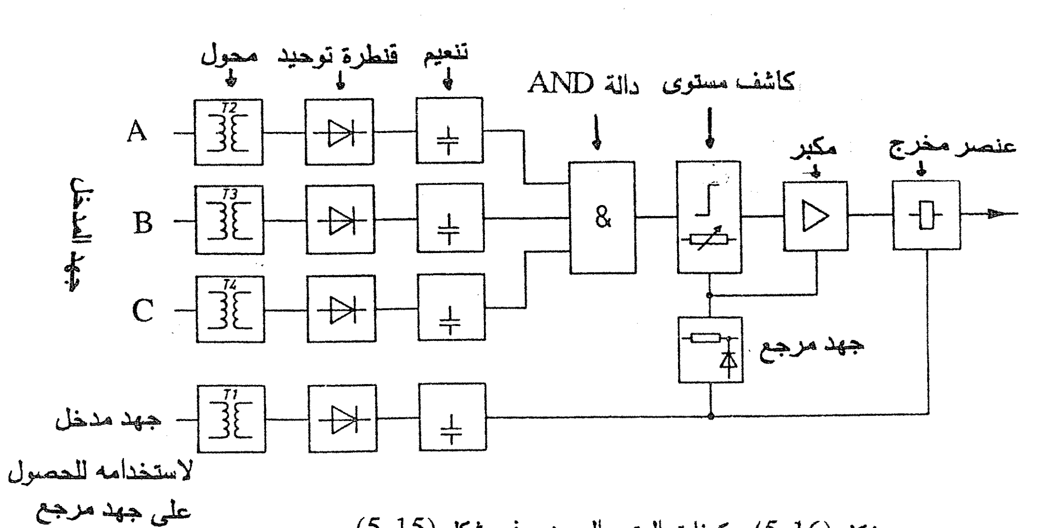
شكل (5-13) دوائر الديود



شكل (5-14) متمم وقاية ضد إنخفاض الجهد ـ أحادى الوجه

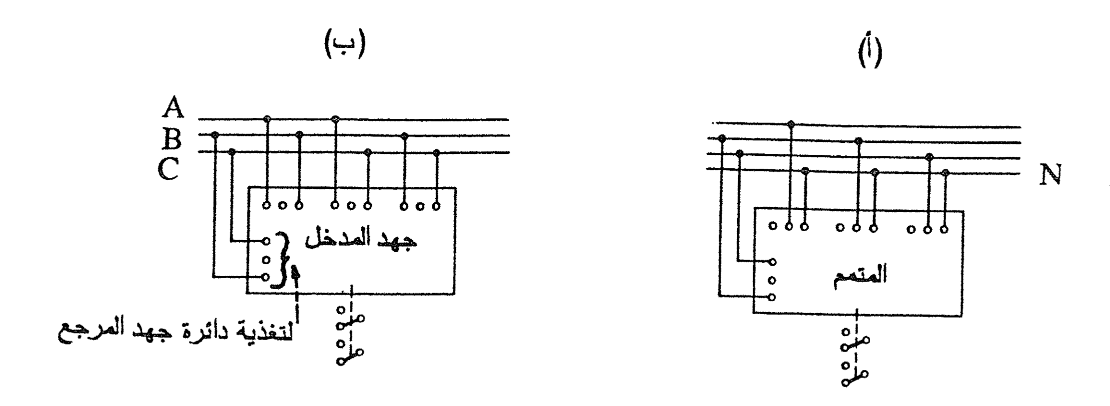


شكل (5-15) متمم وقاية ضد إنخفاض الجهد - ثلاثى الأوجه



شكل (5-16) مكونات المتمم الموضح فى شكل (5-15)

ويوضح شكل *(5-18)* الرموز المختلفة المستخدمة للدلالة على متمم الوقاية ضد زيادة الجهد أو ضد إنخفاض الجهد فى كل من المتممات الكهرومغناطيسية والاستاتيكية .



شكل (17-5) طريقة تغذية المتمم الموضح فى شكل (15-5)

الوصف	الرمز
متمم وقاية ضد زيادة الجهد يحتوى على نقطة تلامس مفتوحة	U>
متمم وقاية ضد زيادة الجهد يحتوى على نقطة تلامس مقفولة	U>
متمم وقاية ضد انخفاض الجهد يحتوى على نقطة تلامس مفتوحة	U<
متمم وقاية ضد انخفاض الجهد	U>
متمم وقاية ضد انخفاض الجهد حدود الضبط من 80 - 50 فولت نسبة الإستعادة 130%	U< 50..80V 130%

شكل (18-5) الرموز المستخدمة للدلالة على
متمم الوقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد

الباب السادس
الوقاية الإتجاهية
DIRECTIONAL PROTECTION

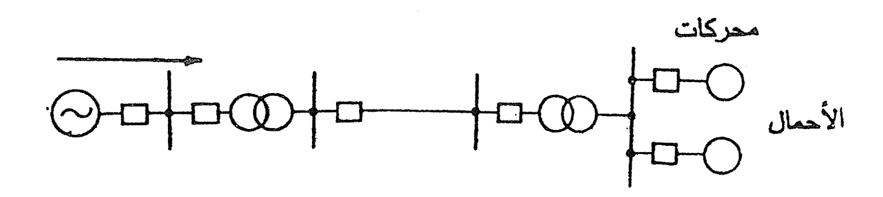
فى الشبكات الكهربائية المكونة من مغذيات إشعاعية *(Radial feeders)* ، كما فى شكل *(6-1)* ، تكون التغذية الكهربائية فى الإتجاه من التوليد إلى الأحمال وتستخدم متممات الوقاية ضد زيادة التيار لوقاية هذه الشبكة . بينما فى الشبكات الكهربائية المكونة من مغذيات مترابطة *(Interconnected feeders)* والتى تعرف بالنظام الحلقى *(Ring system)* ، المكونة من خطين متوازيين يتغذيان من مصدر واحد ، كما فى شكل *(6-2)* أو من شبكة تتغذى من أكثر من مصدر كما فى شكل *(6-3)* ، فتستخدم متممات الوقاية الإتجاهية ، بفرض أن الوقاية المركبة لقواطع التيار أرقام *2,3,4,5* بشكل *(6-2)* هى الوقاية ضد زيادة التيار ، فعند حدوث قصر عند الموضع F_1 فإن القاطعين *4 , 5* يفصلا ، ويعتبر فصل قاطع التيار رقم *4* فصلاً خاطئاً ، حيث أن الخط *3-4* سليم . ولتصحيح هذا الوضع ، تركب وقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى على القاطعين أرقام *5 , 4* بحيث يعمل العنصر الإتجاهى للمتمم عندما يمر التيار فى إتجاه واحد فقط وهو إتجاه عكس سريان تيار التغذية ، كما هو موضح بإتجاه الأسهم فى شكل *(6-2)* . وعلى ذلك عند حدوث العطل F_1 فإن متمم الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى المركب على قاطع التيار رقم *4* لا يعمل .

ويبين الشكلين *(6-4)* , *(6-3)* أمثلة لمواضع تركيب متممات الوقاية الإتجاهية .

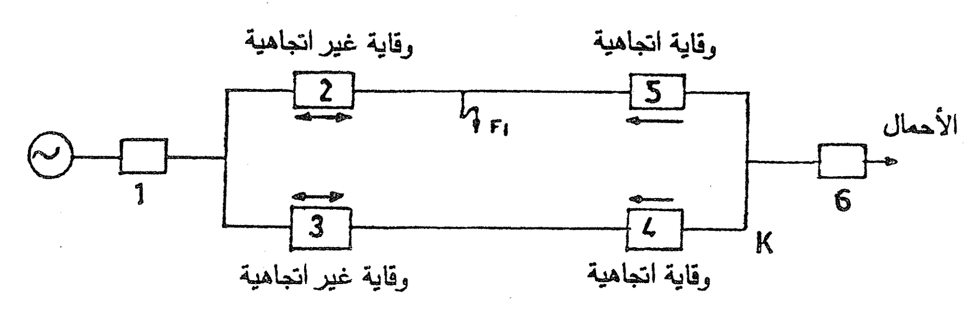
أساسيات متممات الوقاية الإتجاهية

يحتاج العنصر الإتجاهى بمتمم الوقاية إلى كمية كهربائية كمرجع *(Reference quantity)* والتى تكون ثابتة القيمة عند مقارنة التيار المار بالمعدة المركب عليها متمم الوقاية .

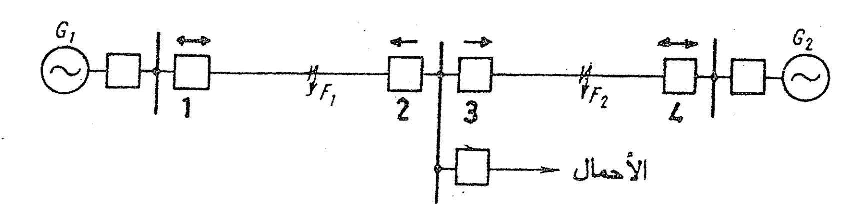
ولمتممات الوقاية التى تعمل عند حدوث أعطال على الأوجه *(Phase-type faults)* يمكن إستخدام أحد جهود النظام كمرجع (مثلاً V_a V_b V_c أو V_{ab} V_{bc} V_{ca}) كما



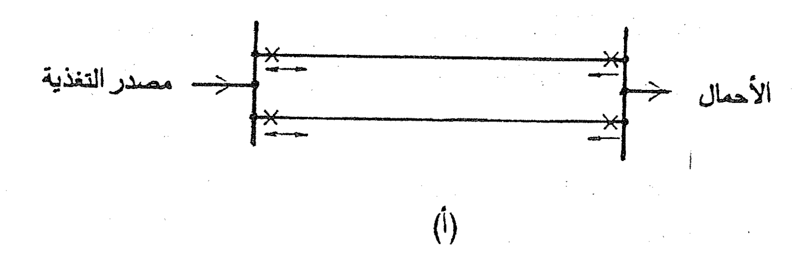
شكل (6-1) شبكة اشعاعية



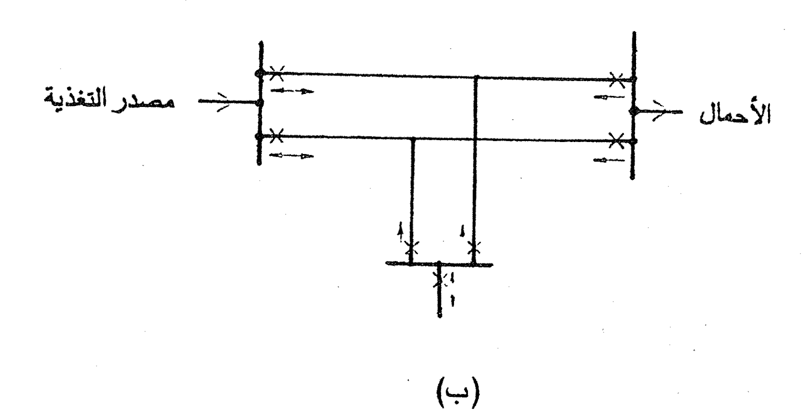
شكل (6-2) النظام الحلقى ـ تغذية من مصدر واحد



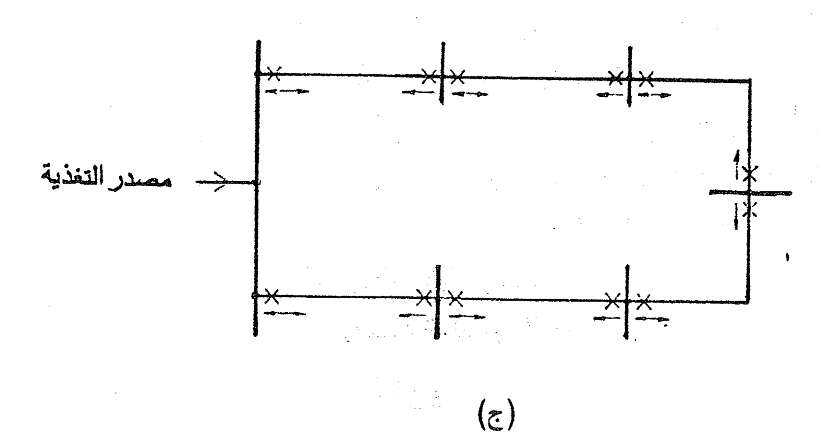
شكل (6-3) النظام الحلقى ـ تغذية من مصدرين



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (4-6) أمثلة لمواضع تركيب متممات الوقاية الإتجاهية

فى شكل (6-5) وأغلب أوضاع متجهات جهود النظام لا تتغير عند حدوث أعطال على الشبكة ولكن التيارات التى تمر فى أجزاء الشبكة قد يتغير إتجاه سريانها فى حالة حدوث أعطال .

ويحتاج العنصر الإتجاهى لكميتين يؤخذان من الشبكة الكهربائية ولذلك تكون علامات القطبية (Polarity) ضرورية فى هذه المتممات وذلك لضمان الإشتغال السليم للمتمم . كما تحتوى متممات الوقاية التى تتأثر بإتجاه مرور التيار (أو القدرة)، عند موضع معين ، على دلالة (قطبية) تشير إلى إتجاه العطل ، وكما ذكرنا سابقاً أن العنصر الإتجاهى لا يستخدم على حدة ولكن كجزء من متمم وقاية كامل وكمثال ، متمم الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى يحتوى على عنصر وقاية ضد زيادة التيار وعنصر يحدد الإتجاه . وعلى ذلك فعند مرور تيار العطل فى إتجاه التشغيل المطلوب، أى فى الإتجاه الذى يتطلب الفصل (Trip direction) ، بقيمة أكبر من القيمة المضبوط عندها عنصر التشغيل فإن المتمم يشتغل بينما إذا كان التيار فى الإتجاه المعاكس أى فى إتجاه عدم الفصل (Non trip direction) ، فإن المتمم لا يشتغل حتى لو كانت قيمة التيار أكبر من قيمة تشغيل المتمم .

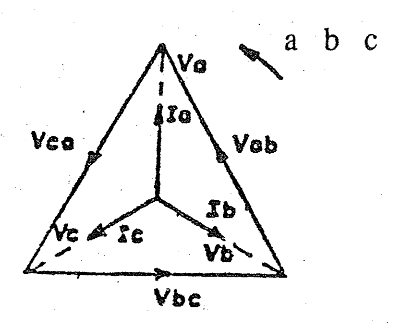
ويطلق على كميةالمرجع كلمة المستقطب (Polarizing) والذى يمكن أن يكون تياراً مستقطباً (Current polarized) أو جهداً مستقطباً (Voltage polarized) أو الإثنين معاً . ويوضح الشكل (6-6)أ ملفى متمم وقاية إتجاهى ذو جهد مستقطب أحدهما ملف جهد (sr) والآخر ملف تيار (pq) . كما يوضح شكل (6-6)ب ملفى متمم وقاية إتجاهى ذو تيار مستقطب عبارة عن ملفين للتيار (nm) , (pq) ويلاحظ علامة القطبية (+) على الملفات ، كما يوضح شكل (6-7) تمثيلاً لتغذية متمم الوقاية الإتجاهى من الدوائر الثانوية لمحولات التيار والجهد . ويعتمد عمل متممات الوقاية الإتجاهية على الزاوية بين التيار والجهد المغذيين للمتمم .

متممات الوقاية الاتجاهية الكهرومغناطيسية

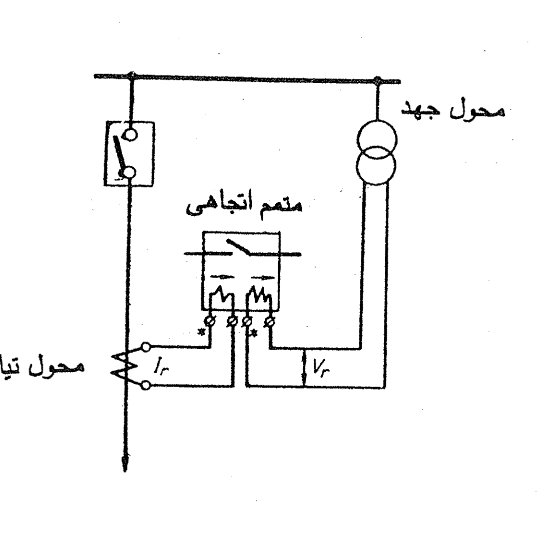
فى المتممات الكهرومغناطيسية يعتمد تشغيل المتمم على معادلة العزم الآتية :

$$T \ \alpha \ VI \ cas(\theta - \alpha)$$

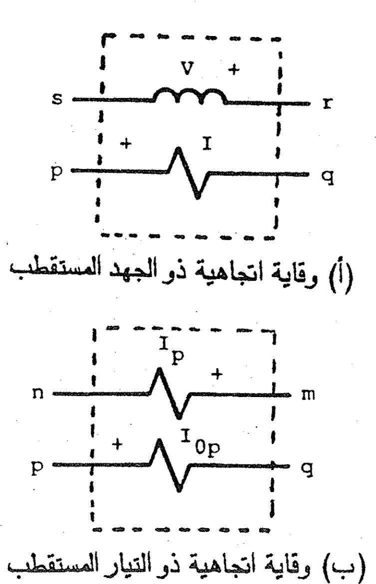
حيث : θ الزاوية بين V, I



شكل (6-5)



شكل (6-7) تمثيل لمتمم الوقاية الاتجاهية



(أ) وقاية اتجاهية ذو الجهد المستقطب

(ب) وقاية اتجاهية ذو التيار المستقطب

شكل (6-6) ملفات متممات الوقاية الاتجاهية

α الزاوية الداخلية للمتمم ، أوهى الزاوية بين الجهد والتيار الذى يحدث عندها أقصى عزم ، كما هو موضح بشكل *(6-8)*

ويمكن التحكم فى قيمة الزاوية θ للحصول على أقصى عزم ، وتوجد أنواع متعددة من المتممات الاتجاهية تعتمد على θ, I, V ومن هذه الأنواع :

1) **وحدة الزاوية** 30° *(30°Type unit)*

الزاوية θ تساوى 30° أى يكون التيار I متأخراً *(Lag)* بزاوية 30° كما فى شكل *(6-9)*أ ، والذى يوضح أيضاً خط أقصى عزم *(Maximum torque line)* وخط عزم الصفر *(Zero torque line)* .

2) **وحدة الزاوية** 60° *(60°Type unit)*

يوضح شكل *(6-9)*ب متجهات هذا النوع .

3) **وحدة الزاوية صفر** *(0°Type unit)*

يوضح شكل *(6-9)* ج متجهات هذا النوع .

ويوضح شكل *(6-9)* منطقة تشغيل المتمم (الإتجاه الموجب للعزم) ومنطقة عدم تشغيل المتمم (الإتجاه السالب للعزم) بالإضافة الى خط أقصى عزم وخط العزم صفر وذلك للحالات الثلاثة السابقة .

أمثلة من متممات الوقاية الإتجاهية الكهرومغناطيسية

1) **متمم القدرة الإتجاهى** *Directional Power Relay*

ويكون الإسم الشائع هو المتمم الإتجاهى *(Directional relay)* والأنواع المستخدمة عبارة عن المتممات من النوع التأثيرى *(Induction relays)* ومنها :

* متمم ذو القرص التأثيرى والقطب المظلل

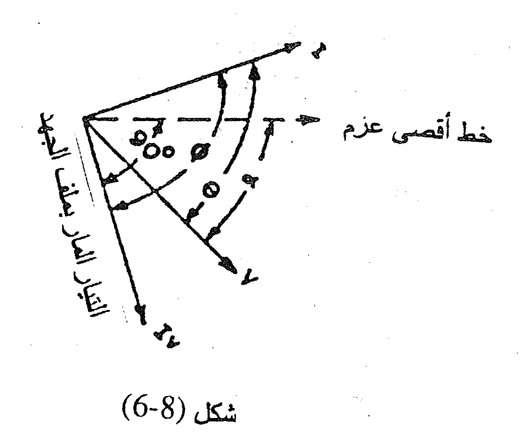
Shaded pole type induction disc relay

* متمم ذو القرص التأثيرى من نوع الواتميتر

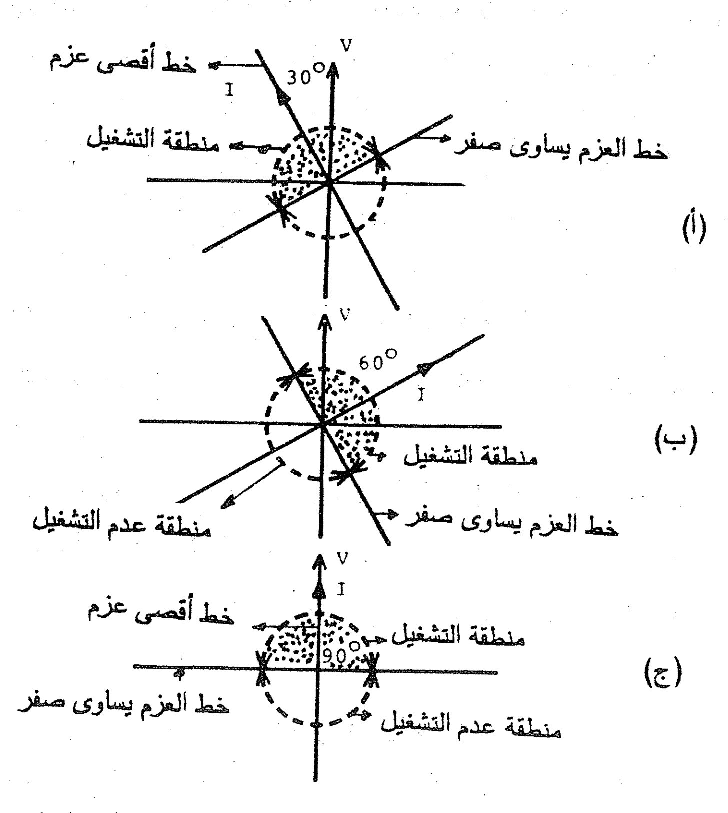
Wattmetric type induction disc relay

* متمم كباية تأثيرى *Induction cup relay*

وقد ذكرت جميع هذه الأنواع بكتاب «الوقاية فى الشبكات الكهربائية ـ الجزء الأول» .



شكل (6-8)



شكل (6-9) خصائص متعددة لمتممات الوقاية الاتجاهية

وتحتوى متممات القدرة الإتجاهية التأثيرية على ملف تيار وملف جهد ويعتمد تشغيلها على عزم الدوران فإذا كان موجباً تقفل نقط التلامس ونحصل على إشارة مخرج وإذا كان عزم الدوران سالباً لا يمكن الحصول على إشارة مخرج .

ويعتمد نوع المتمم على طريقة توصيل مدخلى التيار والجهد من الشبكة الكهربائية وذلك للوصول إلى أقصى عزم ، أى يعتمد على الزاوية بين مدخلى التيار والجهد للمتمم . وعادة تحتوى المتممات الكهرومغناطيسية على زاوية داخلية *(Internal angle)* فمثلاً المتمم الاتجاهى الواتميترى يحتوى على زاوية داخلية قيمتها الصفر وبذلك نحصل على أقصى عزم عندما تكون قيمة معامل القدرة واحداً . بينما المتمم الاتجاهى ذى القطب المظلل له زاوية داخلية تتراوح بين $30°$ إلى $45°$

وتوجد ثلاثة توصيلات شائعة للمتممات الإتجاهية وهى التوصيلة $30°, 60°,$ $90°$ ، أى يشتق الإسم من قيمة زاوية الإختلاف بين التيار والجهد المغذيين للمتمم أثناء حالة التشغيل العادية . ومن الطرق الأكثر شيوعاً طريقة التوصيلة $90°$ ، وفى هذه الطريقة تكون تغذية عنصر الوجه A ، التيار Ia والجهد Vbc ، وهى مستخدمة فى المتممات ذات الكباية التأثيرية بزاوية داخلية تساوى $30°$ أى نحصل على أقصى عزم عند تيار متقدم بزاوية $30°$ عن جهد المدخل وتحت الظروف العادية تكون الزاوية بين الجهد والتيار $90°$ والعزم يساوى $KVI/2$

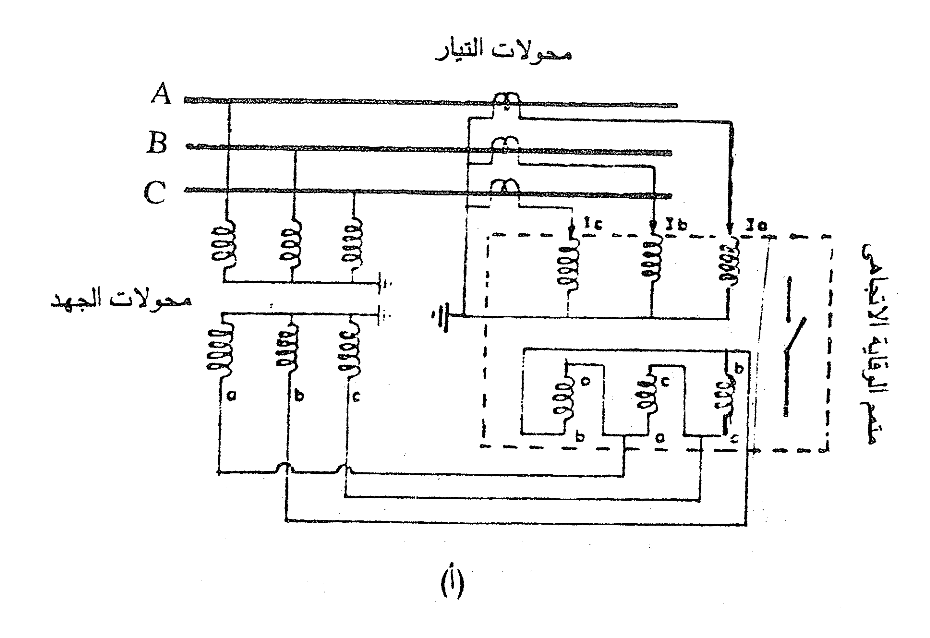
وعند حدوث قصر تصبح الزاوية θ مساوية $30°$ أو أقل ويساوى العزم KVI تقريباً.

ويوضح جدول *(6-1)* تيارات وجهود المدخل لكل وجه وكذلك زاوية أقصى عزم وذلك لأنواع التوصيلات المختلفة .

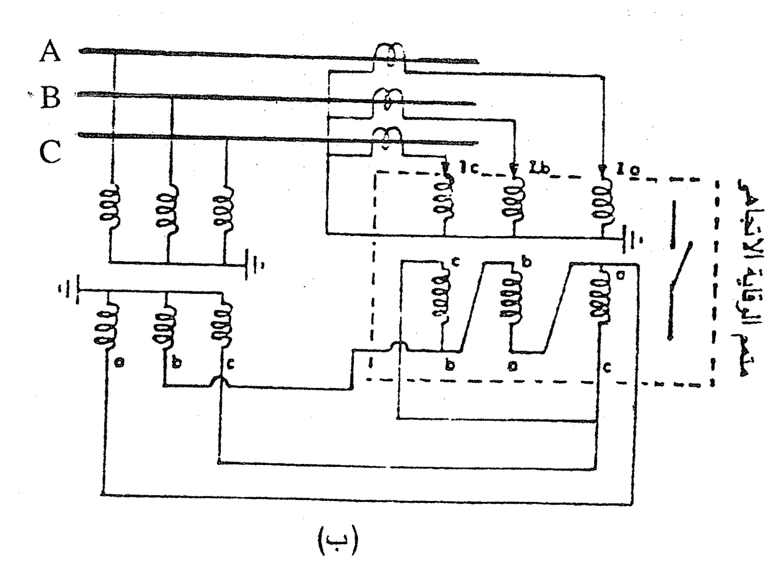
ويوضح الشكلان *(6-10)*أ،ب طريقة تغذية ملفى التيار والجهد لمتمم وقاية إتجاهى فى حالتى التوصيلة $90°, 30°$

وفيما يلى إمثلة لمتممات القدرة الإتجاهية :

أ) يوضح شكل *(6-11)* متمم قدرة إتجاهية ، صناعة سويسرية ، من النوع الكهرومغناطيسى التقليدى ، للتركيب على وجه واحد ، حيث يتكون من ملف تيار متعامد على ملف جهد وأسطوانة من الألمونيوم *(Aluminium cylinder)* مثبتة على

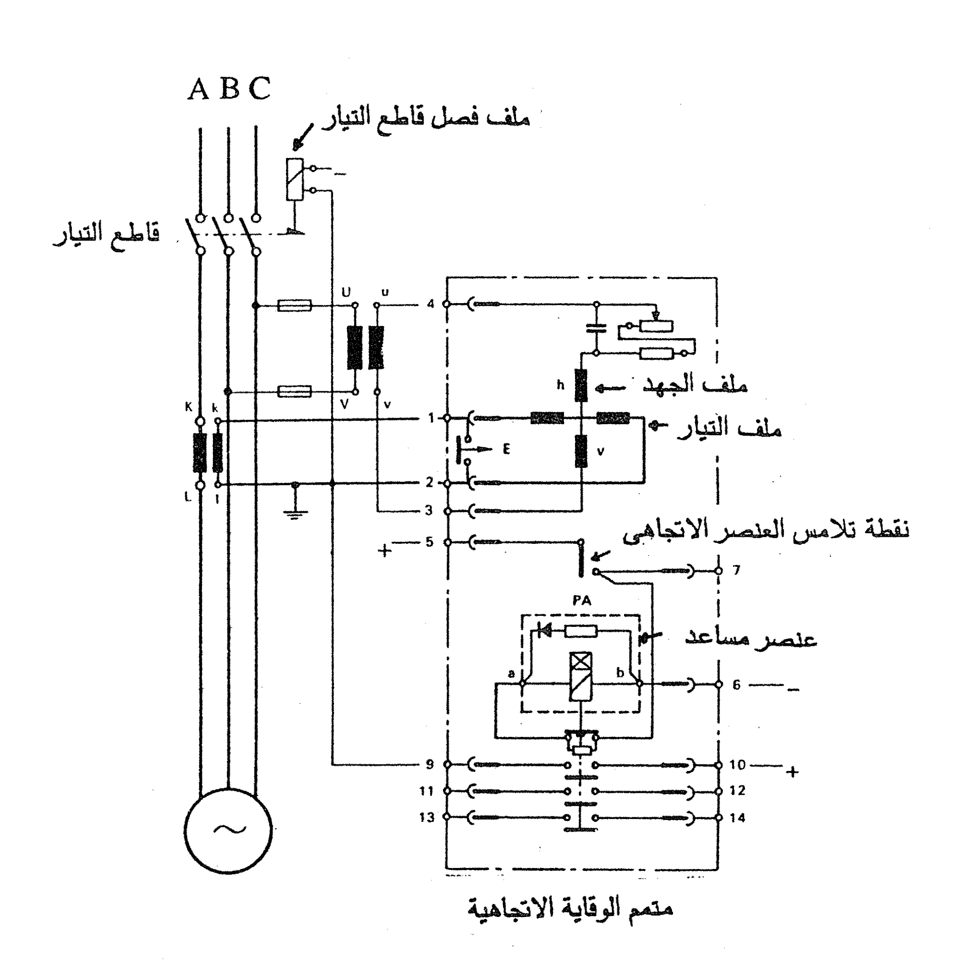


(أ)



(ب)

شكل (6-10) طرق تغذية ملفى التيار والجهد لمتمم الوقاية الاتجاهية للتوصيلتين 30°, 90°



شكل (6-11) دائرة متمم قدرة إتجاهية من النوع الكهرومغناطيسى (وجه واحد)

جدول *(6-1)* تيارات وجهود المدخل لكل وجه وزارية أقصى عزم لأنواع التوصيلات المختلفة

التوصيلة	الوجه A		الوجه B		الوجه C		زاوية أقصى عزم
	I	V	I	V	I	V	
$30°$	I_a	V_{ac}	I_b	V_{ba}	I_c	V_{cb}	I تتأخر $30°$
$60°$ (دلتا)	$I_a - I_b$	V_{ac}	$I_b - I_c$	V_{ba}	$I_c - I_a$	V_{cb}	I تتأخر $60°$
$60°$ (نجمة)	I_a	$-V_c$	I_b	$-V_a$	I_c	$-V_b$	I تتأخر $60°$
$45° - 90°$	I_a	V_{bc}	I_b	V_{ca}	I_c	V_{ab}	I تتأخر $45°$
$60° - 90°$	I_a	V_{bc}	I_b	V_{ca}	I_c	V_{ab}	I تتأخر $60°$

محور إرتكاز . ويعتمد عمل المتمم على معادلة العزم الآتية :

$$T = K V I \cos(\theta - \alpha)$$

حيث : K ثابت المتمم

V الجهد على طرفى ملف الجهد

I التيار المار بملف التيار

θ زاوية الإختلاف بين I , V

α زاوية الاختلاف عند أقصى عزم (أو زاوية القياس للمتمم)

ويمكن ضبط زاوية القياس *(Measuring angle)* للمتمم ، بحيث تتوائم مع زاوية الإختلاف بين I , V ، عن طريق مقاومات وملفات ومكثفات . حيث يغذى ملف التيار بالتيار I_a ويغذى ملف الجهد بالجهد V_{bc} ، كما يوضحه شكل *(6-11)* .

يركب هذا المتمم على مولد كوقاية ضد إنعكاس القدرة ، ونحصل على أقصى عزم عندما تكون الزاوية بين التيار والجهد تساوى $90°$ عندئذ تقفل نقط التلامس *(5-7)* وتعمل على تشغيل عنصر مساعد *(Auxiliary unit)* داخل المتمم ، وفى النهاية تعطى إشارة موجبة لملف فصل قاطع التيار لفصله .

ب) يوضح شكل (6-12) متمم قدرة إتجاهية ، صناعة سويسرية ، من النوع التقليدى ، للتركيب على وجهين ، يتكون من :

* ملفان للتيار يغذيان من الوجهين A , C ، أى التيارين I_a , I_c
* ملفان للجهد يغذيان من الجهدين V_{ab} , V_{bc}

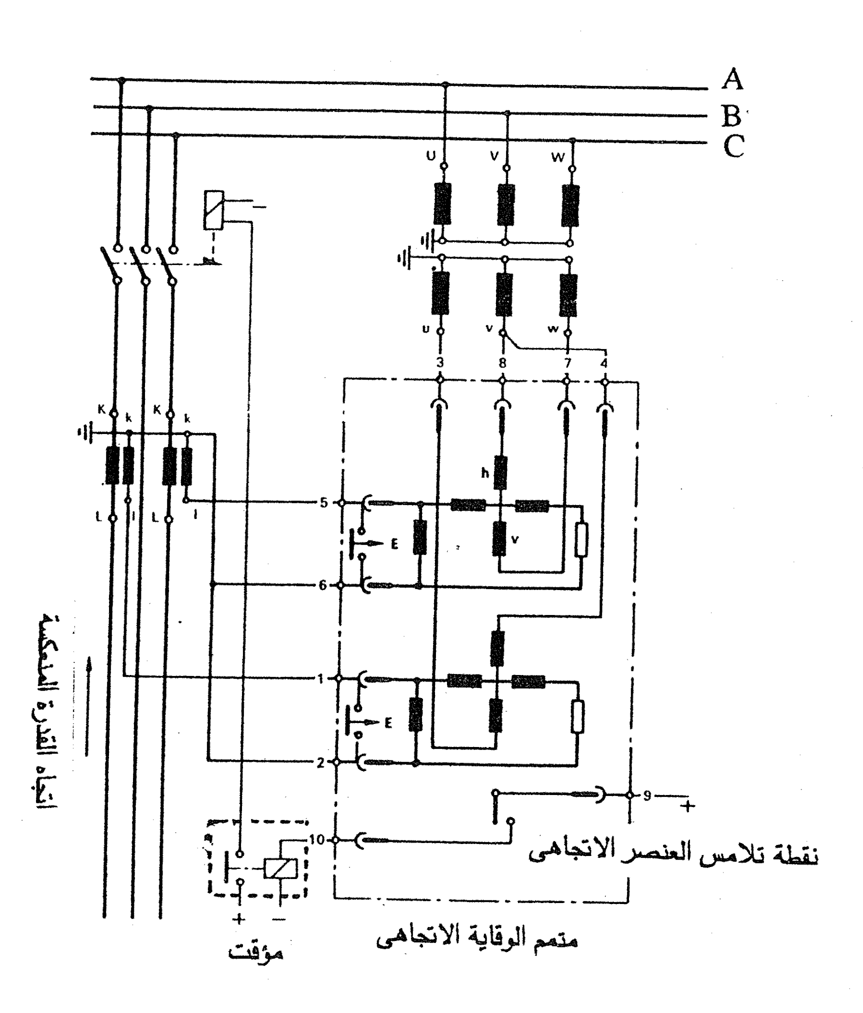
ويمكن توصيل مؤقت ، للحصول على تأخير زمنى معين ، مع المتمم الإتجاهى يعمل المؤقت عندما تقفل نقطتى التلامس للعنصر الإتجاهى ، أى عندما ينعكس إتجاه التغذية فى الكابل أو الخط المركب عليه المتمم . وبعد زمن معين يعطى المؤقت إشارة موجبة لملف فصل قاطع التيار .

2) **متمم الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى** *Directional Overcurrent Relay*

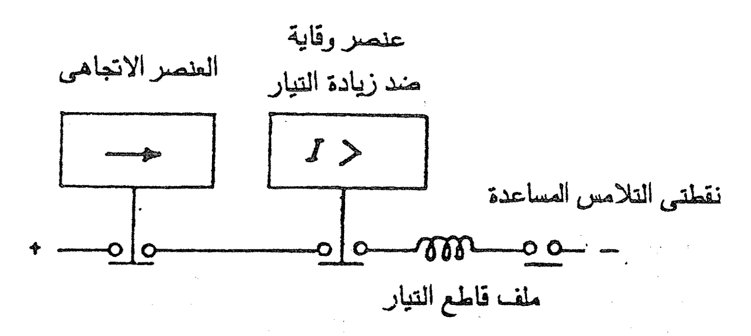
يتكون المتمم من عنصر وقاية ضد زيادة التيار وعنصر وقاية إتجاهى ويتم توصيل نقطتى التلامس لهما على التوالى وذلك لتشغيل ملف فصل قاطع التيار ، كما هو موضح بشكل (6-13) ، وبمعنى آخر أنه يجب حدوث زيادة فى قيمة التيار المار بالإضافة إلى إنعكاس الإتجاه . ويكون عنصر الوقاية الإتجاهية عبارة عن متمم القدرة الإتجاهية المذكور فى البند السابق . كذلك يمكن أن يكون عنصر الوقاية ضد زيادة التيار أما وقاية ضد زيادة التيار ذو التأخير الزمنى المحدد أو ذى الزمن العكسى .

وقد وجد عملياً أن طريقة التوصيل الموضحة بشكل (6-12) يمكن أن تعطى فصلاً خاطئاً لقاطع التيار ، أى يمكن إشتغال العنصر الاتجاهى إشتغالاً خاطئاً ، أثناء حدوث زيادة تيار ، لذلك يفضل إستخدام الطريقة التالية والتى تعرف بنظام التحكم الإتجاهى (*Directional control scheme*) والتى يمكن أن تتم بطريقتين هما :

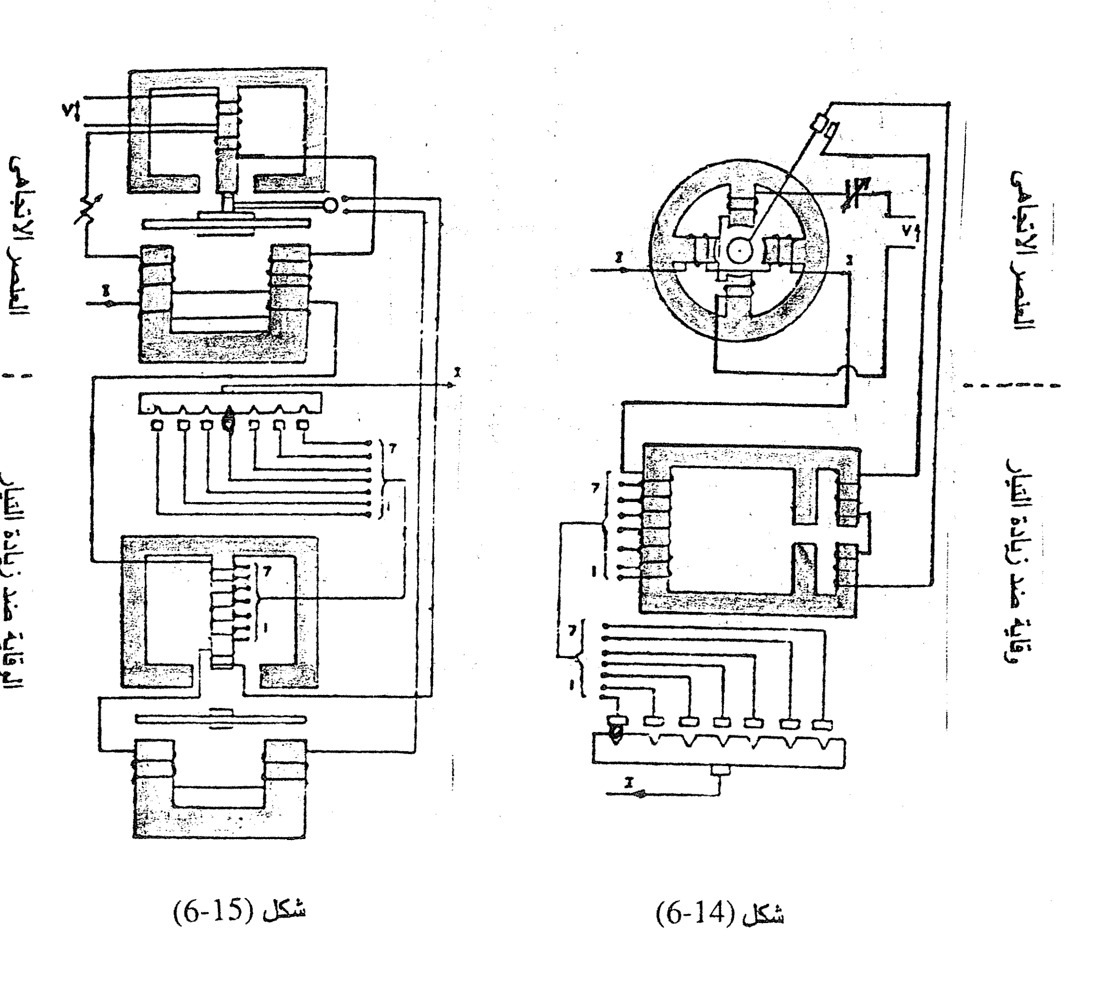
* توصيل نقطتى تلامس العنصر الإتجاهى على التوالى مع ملف القطب المظلل (فى عنصر الوقاية ضد زيادة التيار ذو القرص التأثيرى المحتوى على قطب مظلل *Shaded pole induction disc overcurrent unit*) كما فى شكل (6-14)
* توصيل نقطتى تلامس العنصر الاتجاهى على التوالى مع ملف المغنطة (*Magnetic coil*) (يكون قلب ملف المغنطة على شكل حرف C) . وذلك بمتمم ذى قرص تأثيرى ـ واتميترى (*Wattmetric type induction disc relay*) كما



شكل (6-12) دائرة متمم قدرة اتجاهية من النوع الكهرومغناطيسى (وجهين)



شكل (6-13) دائرة متمم وقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى



شكل (6-15)

شكل (6-14)

فى شكل *(6-15)* .

وفى الحالتين يعمل عنصر زيادة التيار بعد عمل عنصر الوقاية الإتجاهية . وبمعنى آخر يجب أن يحدث أولاً إنعكاس إتجاه حتى يعمل العنصر الإتجاهى ثم بعد ذلك يستكمل مسار التيار فى عنصر زيادة التيار .

ويتم توصيل ملف التيار لعنصر الوقاية ضد زيادة التيار على التوالى مع ملف التيار للعنصر الإتجاهى ، بينما يوصل ملف الجهد (أو ملفات الجهد فى حالة نظام ثلاثى الأوجه) حسب نوع التوصيلة : $30°$ أو $90°$ ... كما ذكرنا سابقاً .

ويوضح الشكلان *(6-16)*أ،ب طريقتى توصيل متمم الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى فى حالة التوصيلة $90°$ والتوصيلة $30°$ ، ويلاحظ فى التوصيلة $90°$ (الشكل *6-16*)أ إحتواء ملف الجهد على مقاومة تعويضية *(Compensation Resistance)* للحصول على الفيض الحادث من ملف الجهد متقدماً *(Lead)* بزاوية $45°$

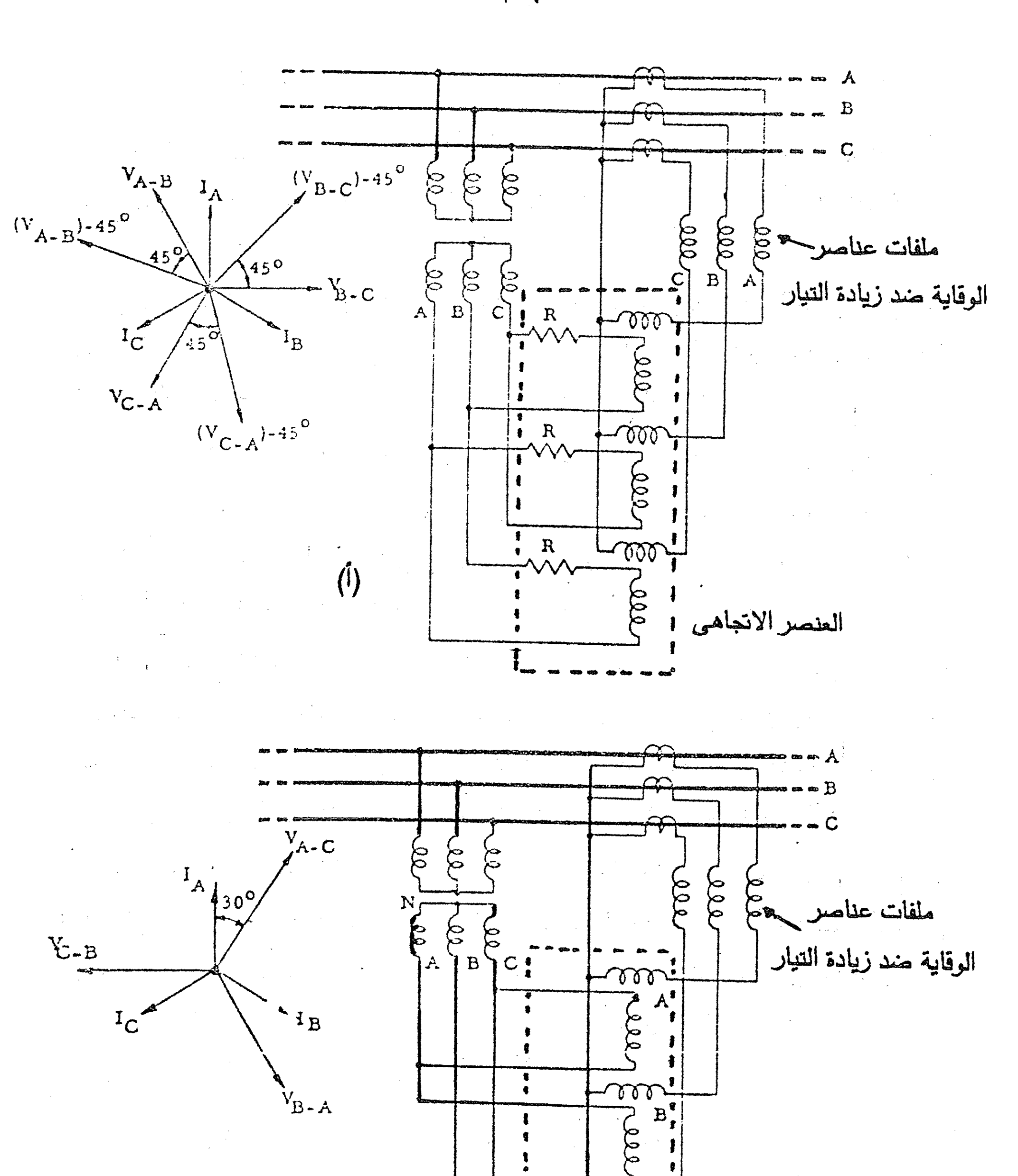
كما يوضح شكل *(6-17)* طريقة توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار مع عنصر إتجاهى على الوجه *A* ، حيث تم توصيل ملفى التيار بالعنصرين على التوالى وتغذيتهما بتيار الوجه *A* (التيار I_a) ، بينما يغذى ملف الجهد ، للعنصر الاتجاهى ، بالجهد V_{bc} عن طريق نقطتى التلامس *9-10* بمتمم الوقاية ضد زيادة التيار .

وفى المثال السابق كانت الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهية عبارة عن متممين يقومان بالعمل معاً للوصول للغرض المطلوب من الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى ولكن توجد أنواع أخرى من المتممات تحتوى بداخلها على كل من عنصر زيادة التيار والعنصر الاتجاهى فى نفس الغلاف وتعمل بنفس الفكرة السابقة . ويمكن أن يكون المتمم إما أحادى أو ثنائى أو ثلاثى الأوجه .

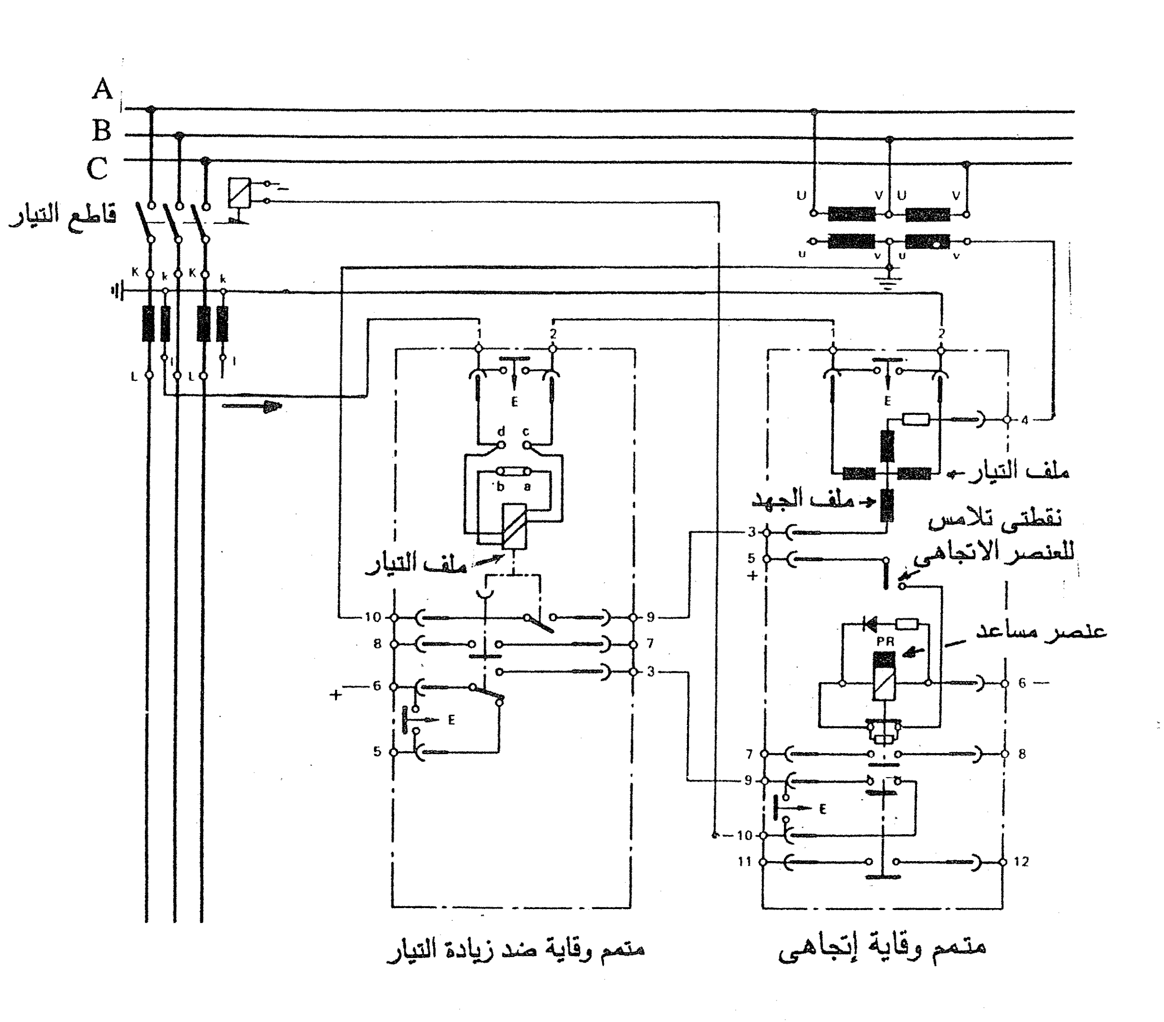
3) متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى

Directional Earth Fault Relay

فى حالة النظام الحلقى *(Ring system)* أو المغذيات المتصلة على التوازى ، فإنه من الضرورى إستخدام متممات وقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى ، والتى تعمل مع جميع أنواع الأعطال الأرضية للنظام الثلاثى الأوجه .



شكل (16-6) طرق توصيل متمم الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى (30°, 90°)



شكل (6-17) متمم وقاية ضد زيادة التيار ومتمم وقاية اتجاهية

ويحتوى المتمم على ملف تيار وملف جهد وتوجد أكثر من طريقة لتغذية الملفين ، بالنسبة لملف التيار ، توجد طرق مختلفة ومتعددة لتغذيته موضحة فى شكل *(6-18)* .

ففى شكل *(6-18)*أ ، يتم توصيل الملفات الثانوية لمحولات التيار للثلاثة أوجه على التوازى ثم توصيل ملف التيار للمتمم على التوازى أيضاً .

وفى شكل *(6-18)*ب يغذى ملف التيار للمتمم عن طريق الملف الثانوى لمحول تيار حلقى يمر به الثلاثة أوجه .

وفى شكل *(6-18)*ج يغذى ملف التيار للمتمم من الملف الثانوى لمحول تيار مركب على نقطة التعادل لتوصيلة نجمة لمحول قدرة له مجموعة إتجاهية دلتا/نجمة.

وفى شكل *(6-18)*د يغذى ملف التيار للمتمم عن طريق نقطة تعادل لمحولات تيار موصلة على الثلاثة أوجه لها توصيلة نجمة .

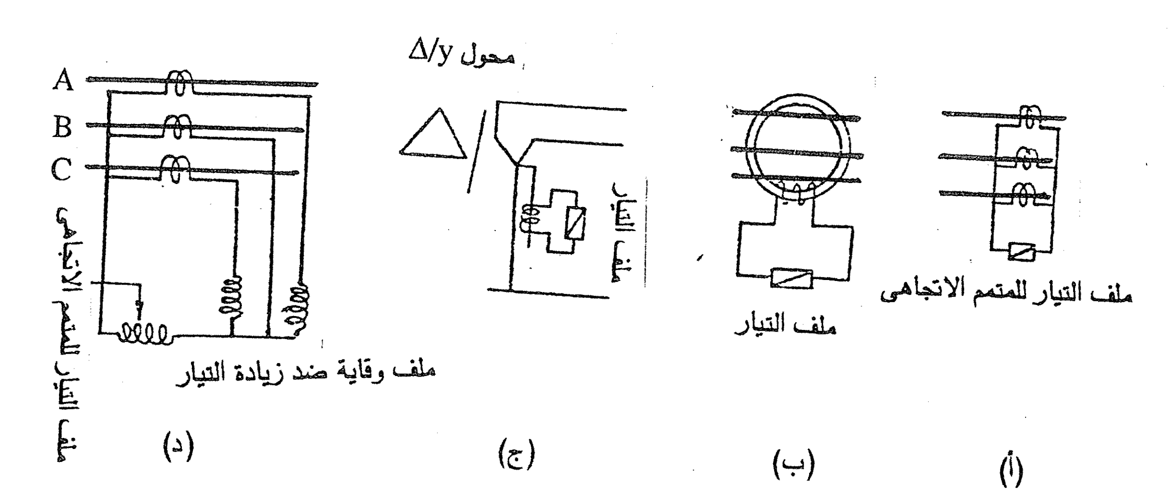
ويعرف التيار المار بملف التيار للمتمم ، فى جميع التوصيلات السابقة ، بالتيار المتبقى *(Residual current)* ورمز له بالرموز I_{res} ، ويساوى المجموع الاتجاهى لمحصلة التيارات المارة بالثلاثة أوجه I_A , I_B , I_C ويخضع للمعادلة التالية :

$$\overline{I}_A + \overline{I}_B + \overline{I}_C = I_{res}$$

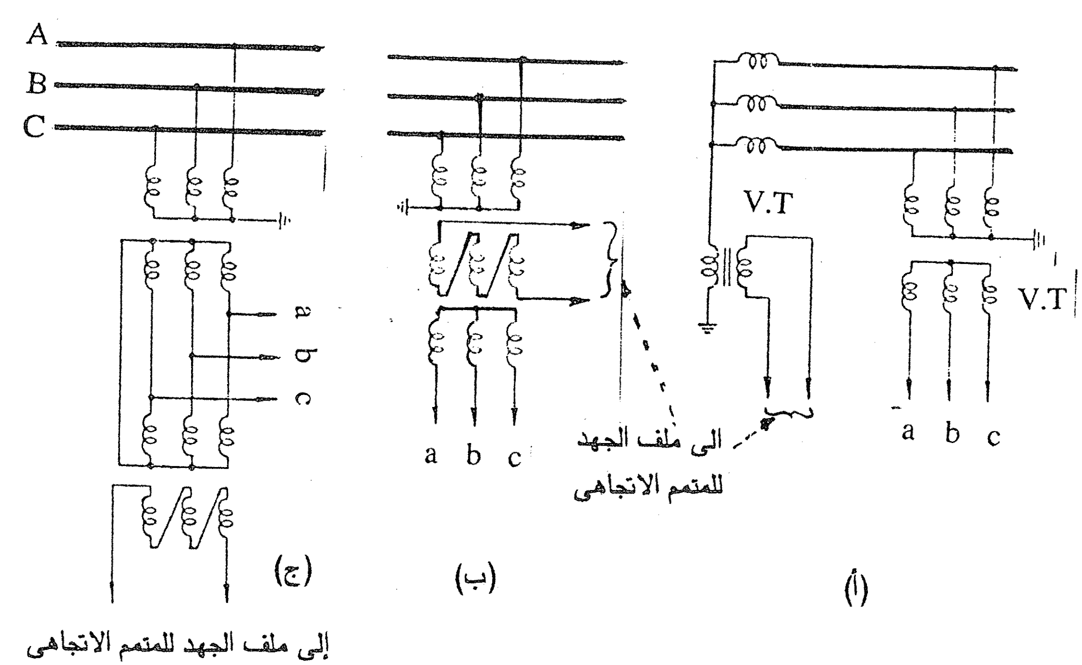
ونجد أن التيار I_{res} يساوى صفر فى حالة أتزان التيارات I_A , I_B , I_C . ويغذى ملف الجهد للمتمم أما من الملف الثانوى لمحول جهد أحادى الوجه مركب على نقطة التعادل لتوصيلة نجمة أو عن طريق توصيلة الدلتا المفتوحة *(Open delta)* (أحياناً يطلق عليها بالإنجليزية *Broken delta*) لمحولات جهد ثلاثية الأوجه .

ويوضح شكل *(6-19)*أ محول جهد أحادى الوجه موصل على نقطة التعادل لتوصيلة نجمة ويغذى ملف الجهد للمتمم من الملف الثانوى لمحول الجهد ، فى حالة الإحتياج لدوائر جهد ثلاثية الأوجه يوصل محول جهد ثلاثى الأوجه على الخط كما فى الشكل .

ويوضح شكل *(6-19)*ب طريقة توصيل ثلاثة محولات أحادية الوجه *(Three*



شكل (6-18) طرق توصيل ملف التيار لمتمم الوقاية ضد التسرب الارضى الاتجاهى



شكل (6-19) طرق توصيل ملف الجهد لمتمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى

(single phase Voltage Transformers أو محول جهد ثلاثى الأوجه يحتوى على عدد خمسة سيقان (Five-limb Voltage Transformer) ، ويحتوى على ملفين ثانويين وعلى ذلك تكون توصيلة محولات الجهد نجمة / دلتا مفتوحة / نجمة ، وتستخدم الدلتا المفتوحة لتغذية ملف الجهد للمتمم .

بينما يبين شكل (6-19)ج طريقة توصيل ثلاثة محولات جهد أحادية الوجه أو محول جهد ثلاثى الأوجه يحتوى على عدد خمسة سيقان ، وتكون المجموعة الاتجاهية لمحولات الجهد على شكل نجمة / نجمة ، وفى هذه الحالة يلزم إضافة محول جهد مساعد (Auxiliary Voltage Transformer) للحصول على دلتا مفتوحة لتغذية ملف الجهد للمتمم .

ويعرف جهد المخرج ، من ملفات الدلتا المفتوحة ، بالجهد المتبقى (Residual voltage) ويرمز له بالرموز V_{res} وهو محصلة الجمع الاتجاهى لجهود الأوجه ، V_{ae} ، V_{be} ، V_{ce} تبعاً للمعادلة الآتية :

$$\overline{V}_{ae} + \overline{V}_{be} + \overline{V}_{ce} = V_{res}$$

ويكون الجمع الإتجاهى V_{res} فى حالة إستقرار الشبكة (لا يوجد أعطال) يساوى الصفر حيث أن جهود الأوجه متساوية ومتزنة .

أما عند حدوث عطل ، فإن قيمة V_{res} تعتمد على طريقة تأريض نقطة التعادل للنظام بالإضافة إلى قيمة مقاومة العطل (Fault resistance) .

وفى حالة عدم حدوث أعطال فى الشبكة الكهربائية ، تتساوى قيم جهود الثلاثة أوجه وتكون الزاوية بين كل متجهين تساوى $120°$. أما عند حدوث عطل ، ينخفض جهد الوجه العاطل (Faulty phase) بالنسبة للأرض وهذا يعتمد على طريقة تأريض نقطة تعادل النظام ، وقد تزيد قيمة جهود الوجهين الآخرين السليمين (Healthy phases) وترجع هذه الزيادة إلى حدوث إزاحة لنقطة التعادل نتيجة تيار العطل (Fault current) وقيمة معاوقة نقطة تعادل النظام .

وفيما يلى توضيح حالات تأريض نقطة التعادل :

أ) نقطة التعادل معزولة أو مؤرضة من خلال ملف إخماد القوس

Insulated or Arc-suppression-coil Earthed System

ترتفع قيمة الجهد المتبقى V_{res} إلى ثلاثة أمثال قيمة الجهد المقنن بين الوجه والأرض للنظام ، كما هو موضح فى شكل *(6-20)*أ ، ولا يستخدم متمم وقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى فى هذه الحالة ، بالإضافة إلى أن تيار العطل صغير جداً وبذلك يكون العزم صغيراً أيضاً .

ب) نقطة التعادل مؤرضة مباشرة *Solidly Earthed System*

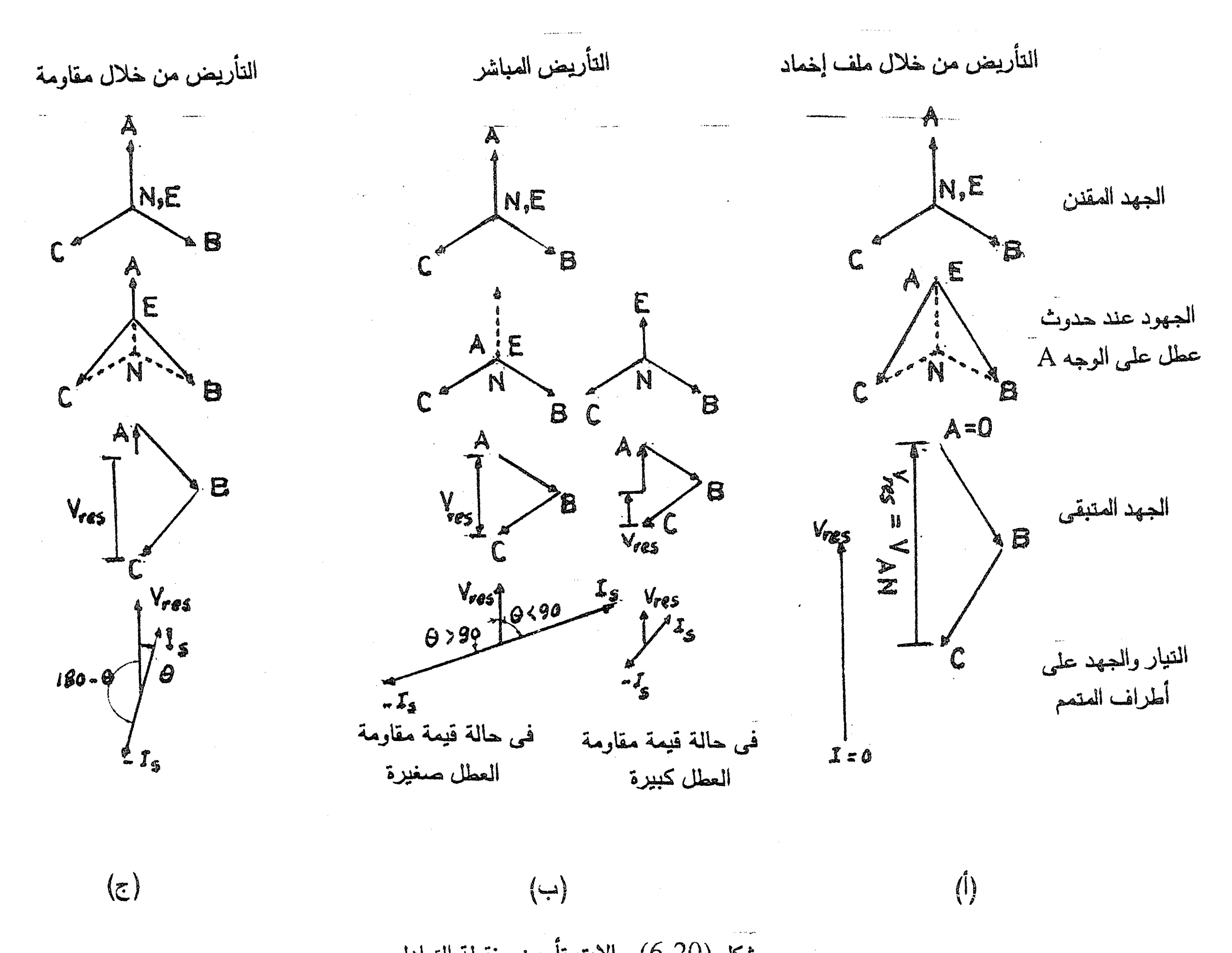
إن أقصى قيمة يمكن أن يصل إليها الجهد المتبقى V_{res} هى قيمة جهد الوجه للنظام . فإذا كانت مقاومة العطل *(Fault resistance)* كبيرة فإن قيمة الجهد المتبقى V_{res} أقل من قيمة جهد الوجه للنظام ، كما هو موضح فى شكل *(6-20)*ب ، وكلما زادت قيمة مقاومة العطل يقل تيار العطل وأيضاً الجهد المتبقى وعلى ذلك فإن معامل القدرة *(Power factor)* ، لمسار العطل ، يساوى الواحد ويكون العزم للمتمم صغيراً جداً ، أما إذا كانت مقاومة العطل تساوى الصفر فإن تيار العطل يصبح كبيراً والجهد المتبقى يساوى جهد وجه النظام تقريباً ولكن قيمة معامل القدرة تعتمد على قيمة مقاومة ومحاثة مسار العطل والتى يمكن أن تكون صغيرة .

ج) نقطة التعادل مؤرضة من خلال مقاومة *Resistor Earthed System*

تعتمد قيمة الجهد المتبقى على قيمة مقاومة التأريض ، كما فى شكل *(6-20)*ج ويكون تيار العطل مناسباً ، إلا إذا كانت قيمة مقاومة العطل كبيرة ، ويصاحبه معامل قدرة قريباً من الواحد .

فى النظام المؤرض مباشرة مع الأرض ، يحتوى متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى على عنصر للحصول على زاوية تعويض *(Compensation angle)* تتراوح تقريباً بين 12.5° إلى 15° ، وذلك لزيادة قيمة معامل القدرة $\cos(\theta - \alpha)$ بمعادلة العزم . وتوجد طريقتان لذلك هما :

1) إضافة مقاومة ومحاثة على طرفى الدلتا المفتوحة لمحول الجهد ، كما فى شكل *(6-21)*أ بحيث تكون قيمة معاوقتهما متساوية ، ويتم توصيل ملف الجهد للمتمم على التوازى مع المقاومة ،وبذلك نحصل على جهد بين طرفى ملف الجهد للمتمم يساوى V_{RC} ويتأخر بزاوية 45° عن الجهد المتبقى V_{res}


التأريض من خلال ملف إخماد
التأريض المباشر
التأريض من خلال مقاومة
الجهد المقنن
الجهود عند حدوث عطل على الوجه A
الجهد المتبقى
التيار والجهد على أطراف المتمم
A
B
C
N,E
E
N
A=0
$V_{res} = V_{AN}$
V_{res}
$I=0$
I_s
$-I_s$
$\theta > 90$
$\theta < 90$
θ
$180-\theta$
فى حالة قيمة مقاومة العطل صغيرة
فى حالة قيمة مقاومة العطل كبيرة
(أ)
(ب)
(ج)

شكل (6.20)

وإذا كان معامل القدرة للعطل يساوى الواحد فإن تيار العطل I_F يتقدم الجهد الحادث على ملف الجهد للمتمم بزاوية $45°$ وتصبح معادلة العزم تساوى :

$$(0.7\ V_{RC}\ I_F)$$

ولو فرضنا أن معامل القدرة للعطل يساوى 0.7 مثلاً (زاوية متأخرة) فإن I_F , V_{RC} يصبحان فى إتفاق وجهى *(In phase)* وتصبح معادلة العزم تساوى $(V_{RC}\ I_F)$ أى تساوى 1.4 من قيمة العزم فى الحالة التى يكون فيها معامل القدرة للعطل يساوى الواحد .

وإذا تم ضبط المتمم على زاوية تعويض تساوى $15°$ فإننا نحصل على قيمة أقصى عزم عندما يكون معامل القدرة للعطل يساوى 0.5 (متأخر) .

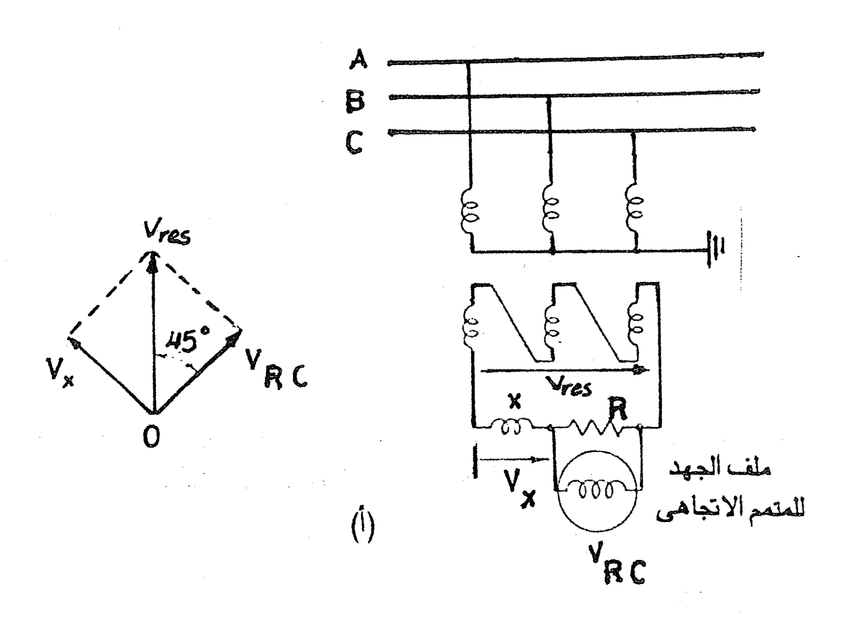
2) إضافة مكثف ومقاومة على التوالى مع ملف الجهد للمتمم ، كما فى شكل *(6-21)*ب والذى يوضح أيضاً قيمة ومتجه الجهد المتبقى V_{res} . ويتم إختيار قيمة المكثف والمقاومة بحيث تناسب قيمة ملف الجهد للمتمم .

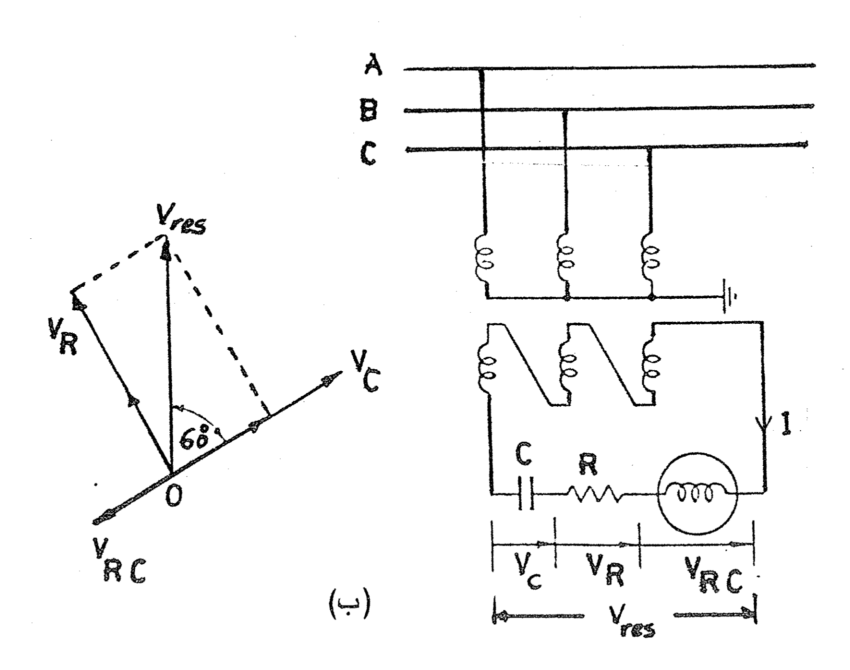
* أمثلة من متممات الوقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى الكهرومغناطيسى :

الخلاصة أن ملفى التيار والجهد لمتمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى يغذيان بقيمتى التيار المتبقى والجهد المتبقى للنظام ثلاثى الأوجه ، وتوضح الأشكال *(6-22)*أ،ب،ج،د بعض الطرق الشائعة لتوصيل ملفى التيار والجهد للمتمم على نظام ثلاثى الأوجه .

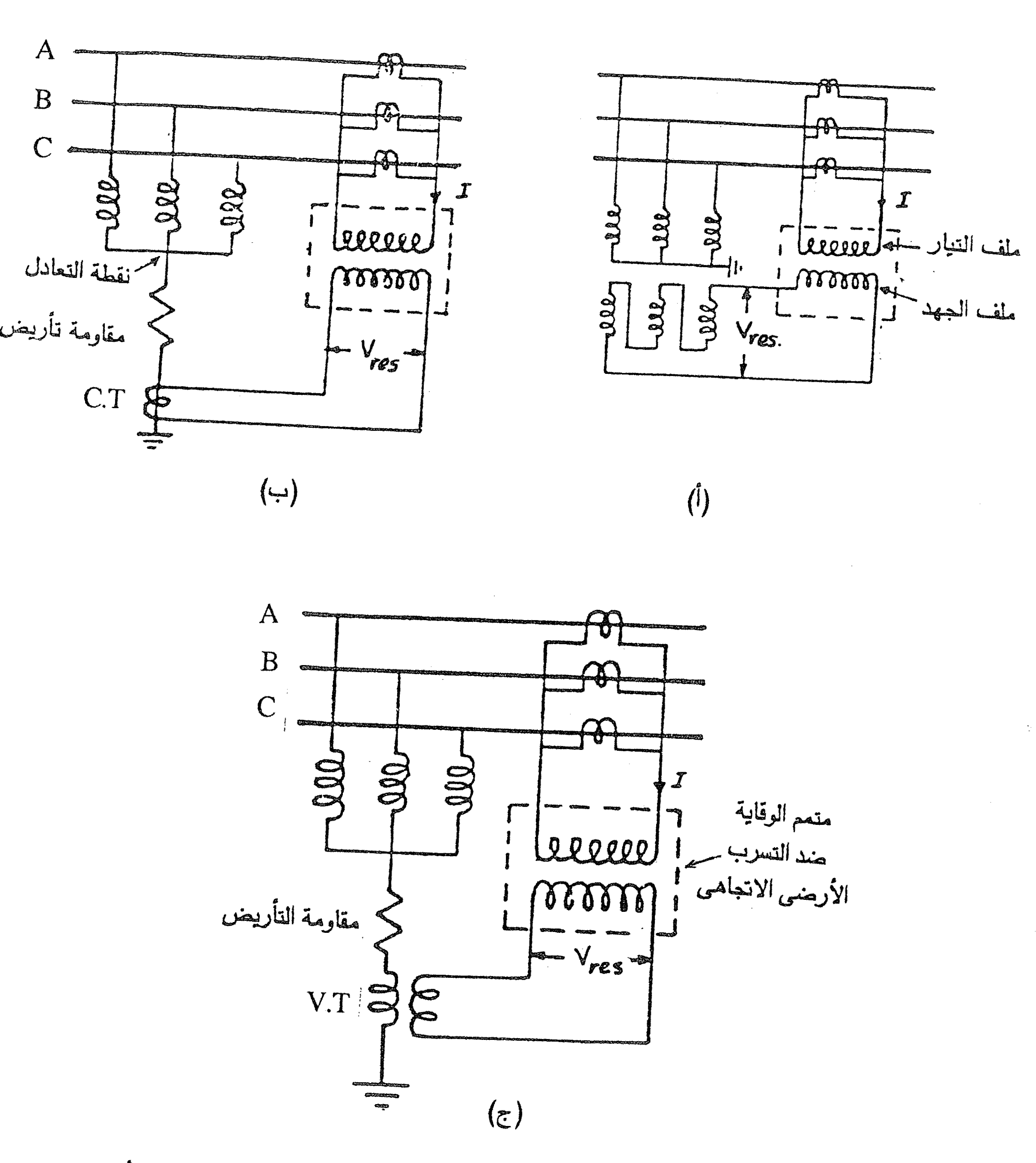
ومن ذلك نجد أن متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى عبارة عن متمم قدرة ذى حساسية لإتجاه العطل عن طريق قطبية التيار أو الجهد .

ويوضح شكل *(6-23)* متمم وقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى يمكن تركيبه على شبكة كهربائية معزولة أو مؤرضة مباشرة أو من خلال مقاومة أو ملف إخماد القوس . كذلك يمكن ضبطه بحيث يكون ذو حساسية للمركبة الفعالة *(Active)* لتيار العطل أو غير الفعالة *(Reactive)* . ويتكون المتمم من ملف تيار متعامد مع ملف الجهد وأسطوانة من الأولمنيوم مثبتة على محور إرتكاز بالإضافة إلى عنصر مساعد ، كما هو موضح فى شكل *(6-24)* ، وتوصيلة المتمم الداخلية ، كما فى الشكل ، حيث نحصل منها على زاوية قياس تساوى صفراً أى أن المتمم يكون ذو حساسية للمركبة

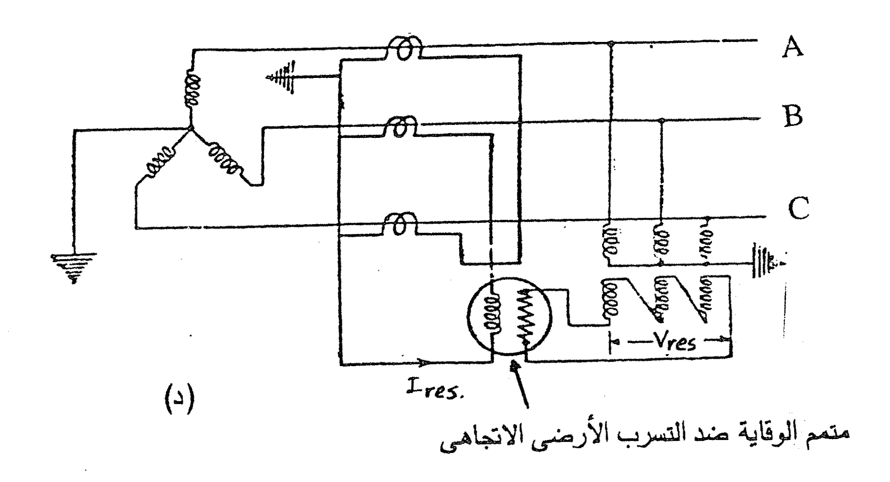




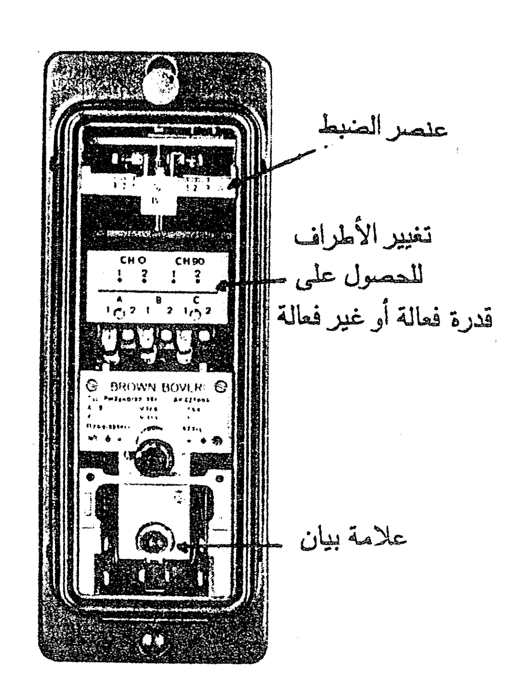
شكل (21-6) عنصر زاوية التعويض



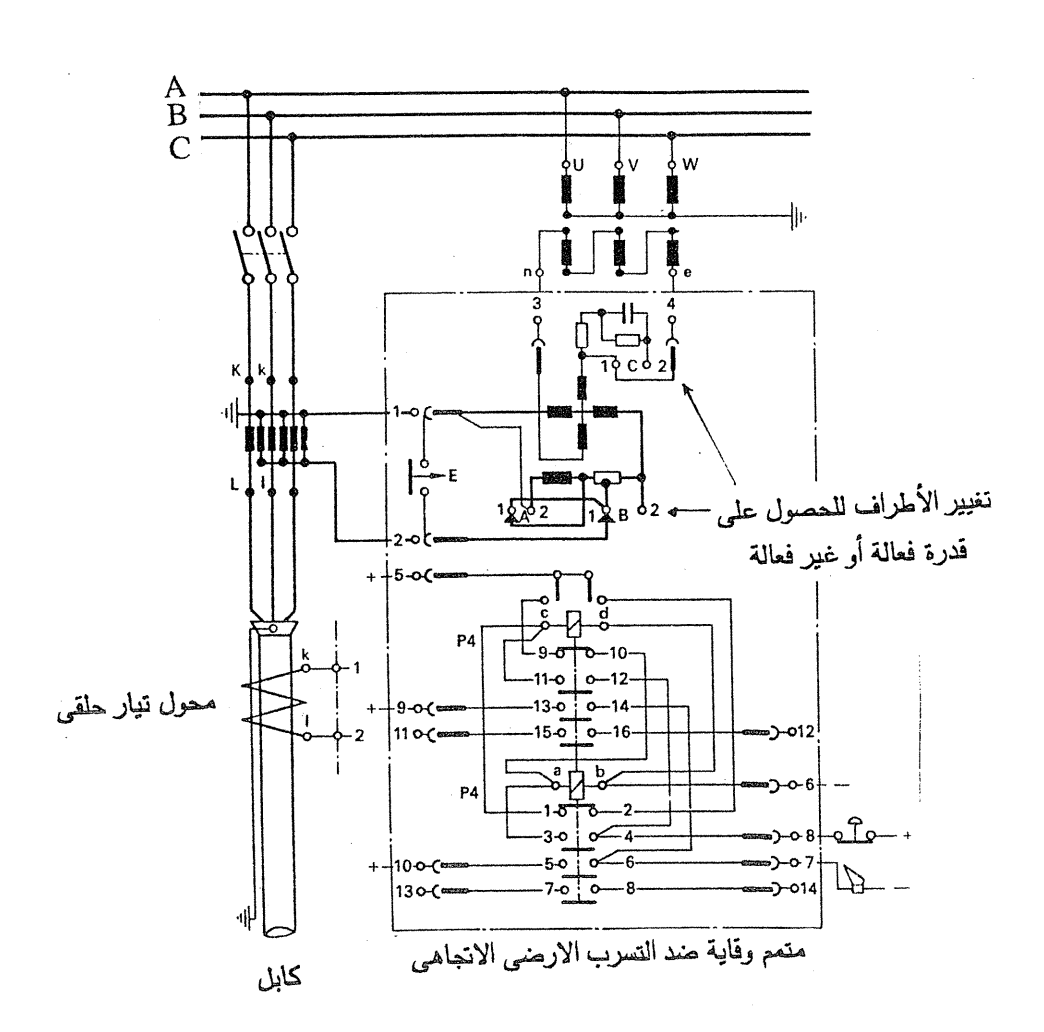
شكل (6-22) بعض طرق توصيل ملفى التيار والجهد لمتمم الوقاية ضد التسرب الأرضى



تابع شكل (6-22)



شكل (6-23) متمم وقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى



شكل (6-24) دائرة المتمم الموضح بشكل (6-23)

الفعالة لتيار العطل . وعند الإحتياج لتشغيل المتمم للإحساس للمركبة غيرالفعالة لتيار العطل ، يتم تغيير الأطراف أرقام *1* على التوصيلات *A, B, C* إلى الأطراف أرقام *2* أى تصبح زاوية القياس تساوى $90°$

كما يلاحظ أيضاً فى الشكل أن تغذية ملف التيار للمتمم إما أن تتم من التيار المتبقى الناتج من توصيلة الملفات الثانوية لمحولات التيار على التوازى ، أو من الملف الثانوى لمحول تيار حلقى مركب على الكابل ثلاثى الأوجه .

وبالرجوع إلى شكل *(6-6)* يلاحظ أن متمم الوقاية الإتجاهى يمكن أن يكون متمم وقاية إتجاهى ذى تيار مستقطب أى يحتوى على ملفين تيار ويخضع لمعادلة العزم التالية :

$$T = K\, I_1\, I_2 \cos(\theta - \alpha)$$

حيث : K ثابت المتمم

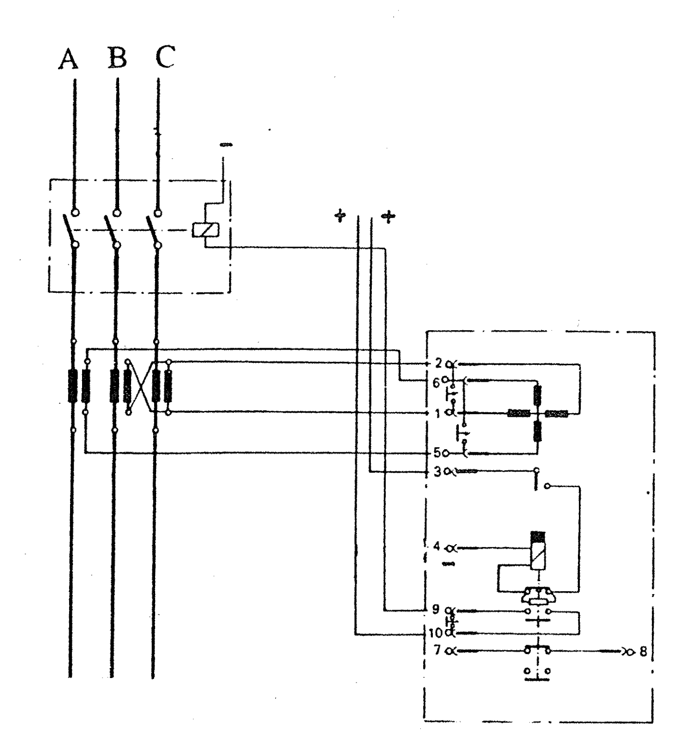
I_1, I_2 التيارين المارين بالملفين

α زاوية القياس للمتمم والتى يحدث عندها أقصى عزم

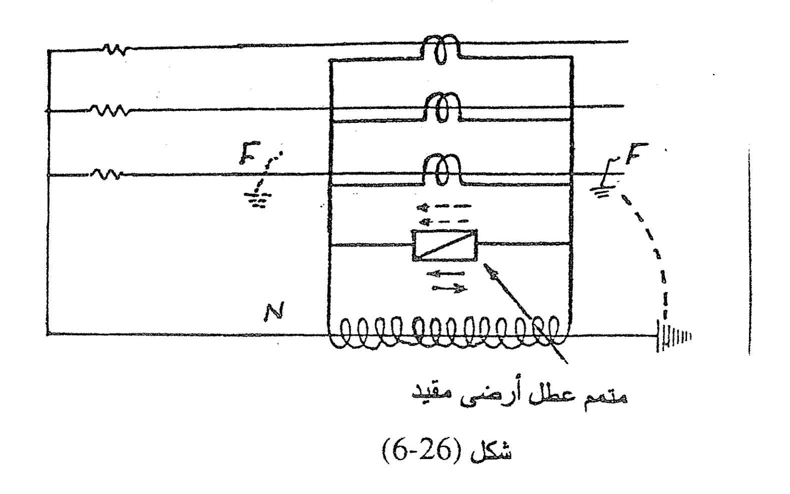
θ الزاوية بين I_1, I_2

ويوضح شكل *(6-25)* متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية الإتجاهية يخضع لمعادلة العزم السابقة ، حيث يغذى أحد ملفى التيار بتيار الوجه *A* (أى I_a) بينما يغذى الملف الآخر بمجموع تيارى الوجهين *B, C* (أى $I_b + I_c$) . ويعرف هذا المتمم بمتمم ضد أعطال الأوجه *(Phase failure relay)* ويعمل المتمم عند حدوث عطل على أى وجه ، وعادة يركب لوقاية محرك .

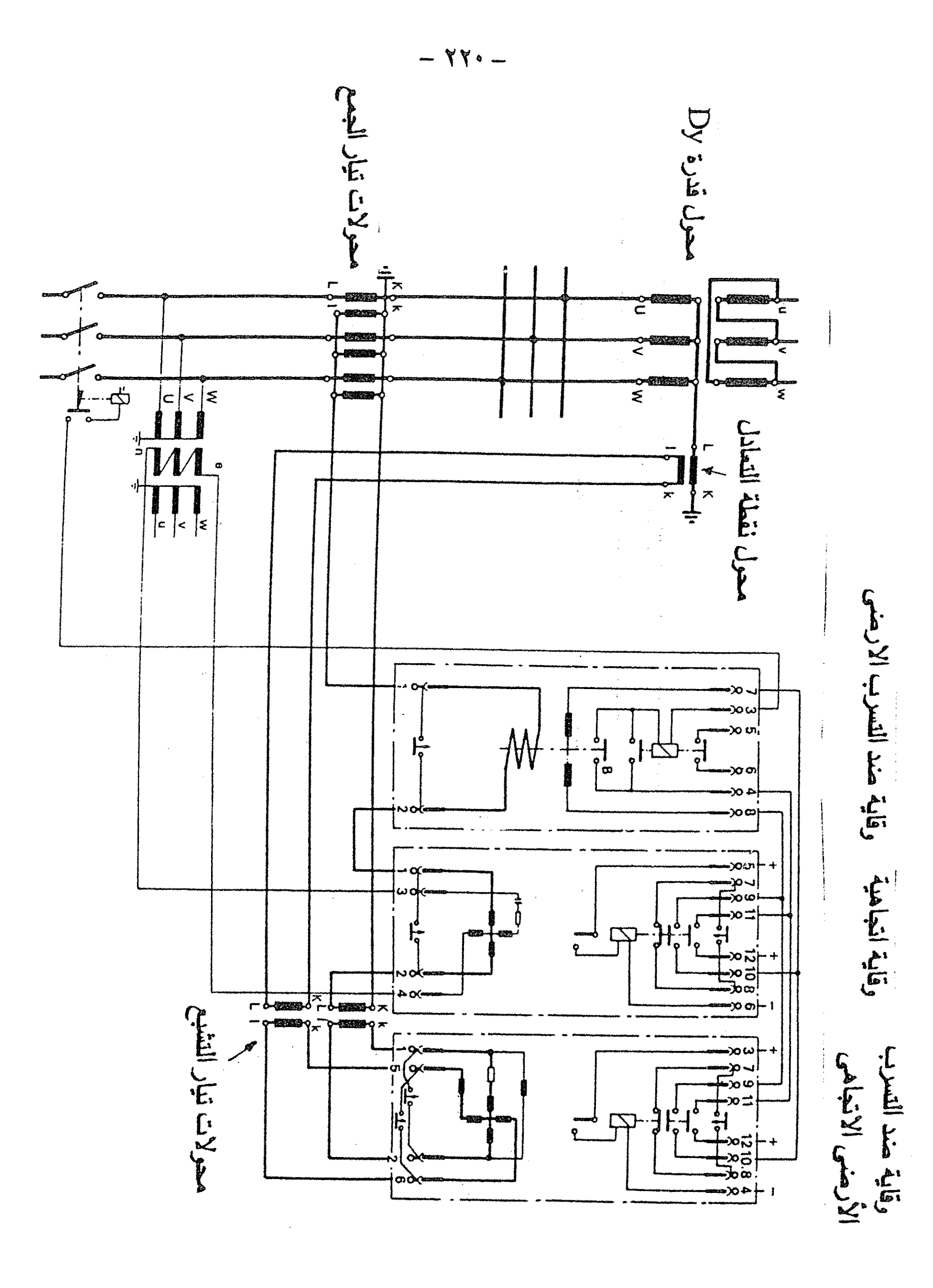
يطلق على نظم الوقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهية إسم نظام العطل الأرضى المقيد *(Restricted earth fault scheme)* ، وأكثر هذه النظم شيوعاً هو متمم الوقاية الأرضى الذى يقارن الجمع الإتجاهى لتيارات الثلاثة أوجه مع التيار المار بنقطة التعادل ، كما فى شكل *(6-26)* ، فعند حدوث عطل على أى وجه خلف محولات التيار (العطل F_1) فإن مجموع مركبة التعاقب الصفرية للتيار *(Zero sequence current)* تساوى نفس التيار المار بنقطة التعادل لمحولات التيار ، أى لا يمر أى تيار بالمتمم ، بالتالى لا يعمل المتمم . ولكنه يعمل لجميع الأعطال للجانب



شكل (6-25) متمم وقاية ضد الأعطال الأرضية الاتجاهية



شكل (6-26)



شكل (6-27) متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى

الأيسر لمحولات التيار كما فى شكل *(6-26)* حيث يكون التيارين فى نفس الإتجاه أى يجمعا (حالة العطل F_2) .

يوضح شكل *(6-27)* تطبيق لنوعين من الوقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى:

أ) وقاية ضد التسرب الأرضى تعمل بتيار عدم الإتزان الناتج من محولات التيار الجمعى *(Summation Current Transformers)* بالإضافة الى متمم وقاية إتجاهى يتغذى من تيار عدم الإتزان أيضاً بالإضافة الى جهد الدلتا المفتوحة .

هذان المتممان يمثلا وقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى تعمل بتيار عدم الإتزان وجهد عدم الإتزان للثلاثة أوجه .

ب) وقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى تعمل بتيار عدم الإتزان الناتج من محولات التيار الجمعى وتيار عدم الإتزان المار بنقطة التعادل لمحول القدرة ، أى يغذى المتمم بتيارين ، مثل الفكرة الموضحة بشكل *(6-26)* ، (يلاحظ أن هذين التيارين يتحولان إلى المتمم من خلال محولى تيار التشبع *Saturation Current Transformer*) .

متممات الوقاية الاتجاهية الإستاتيكية *Static Directional Relays*

فى متممات الوقاية الإتجاهية الاستاتيكية يمكن إستخدام مقارنات الزاوية أو مقارنات القيمة مع مراعاة إختيار المداخل المناسبة ، ولكن يفضل إستخدام مقارنات الزاوية . وفيما يلى بعض الأنواع المستخدمة :

أ) متمم إتجاهى بإستخدام بللورات «هول»

Directional Relay With Hall Crystals

يتكون المتمم من بلورتين موصلتين كما فى شكل *(6-28)*أ ، وإشارتى المدخل I, V تبعا للمعادلتين :

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$I = I_m \sin(\omega t + \phi)$$

وتتميز هذه التوصيلة بعدم إحتواء جهد المخرج على المركبة الزوجية للتردد *(Double frequency)* ، وتعتمد الفكرة على تحويل الجهد V إلى معدل تغيير الجهد

بالنسبة للزمن أى dV/dt ، وتحويل التيار I إلى معدل تغيير التيار بالنسبة للزمن أى dI/dt بحيث يكون مدخلى البلورة رقم 1 هما V , dI/dt ومدخلى البلورة رقم 2 هما I , dV/dt ، ويكون جهد المخرج عبارة عن الفرق بين جهدى مخرج البلورتين كالآتى:

$$V_O = V \frac{dI}{dt} - I \frac{dV}{dt}$$

وبالتعويض عن قيم I , V ، تفاضل V ، تفاضل I نحصل على :

$$V_O = \omega I_m V_m \sin \phi$$

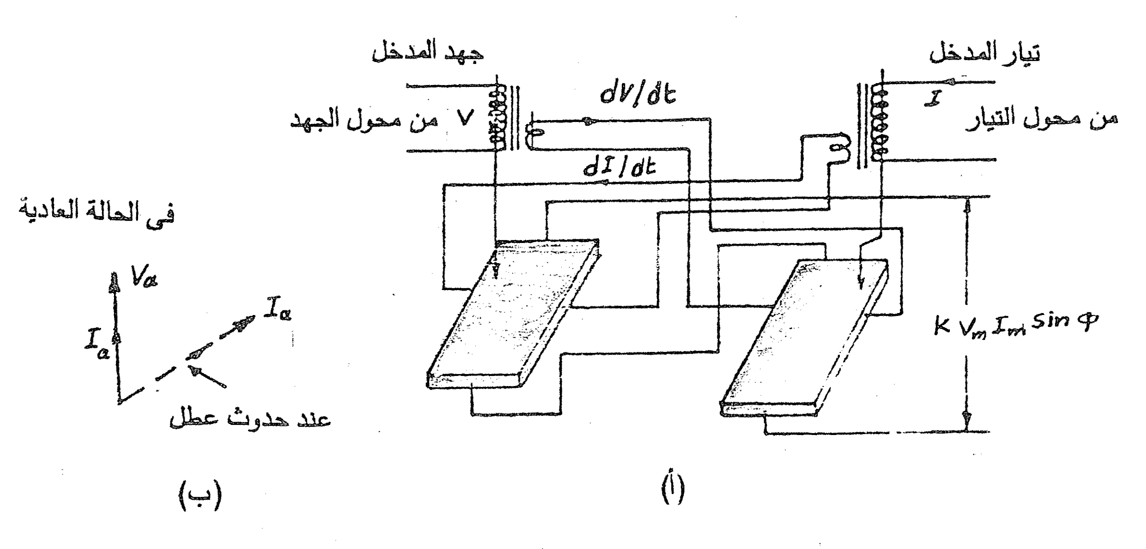
بفرض توصيل هذا المتمم على الوجه A فإن التيار المار هو I_a والجهد بين الوجه ونقطة التعادل هو V_a ، وفى حالة التشغيل العادى فإن جهد المخرج V_O يكون صغيراً جداً ، ولكن عند حدوث عطل فإن I_a يتأخر بزاوية تقترب من $90°$ ونحصل على أقصى جهد مخرج ، كما فى شكل (6-28)ب ويصبح المتمم فى حالة عدم تشغيل إذا كانت I_a تتقدم V_a . ويمكن إضافة عنصر إزاحة الزاوية *(Phase shifting unit)* للسماح للمتمم للعمل فى حالة معامل القدرة المتقدم .

وبإستخدام بلورة أحادية وتغذية مدخل الجهد بقيمة الجهد المتبقى ومدخل التيار بالتيار المتبقى نحصل على فكرة متمم التسرب الأرضى الإتجاهى بإستخدام بلورة «هول» .

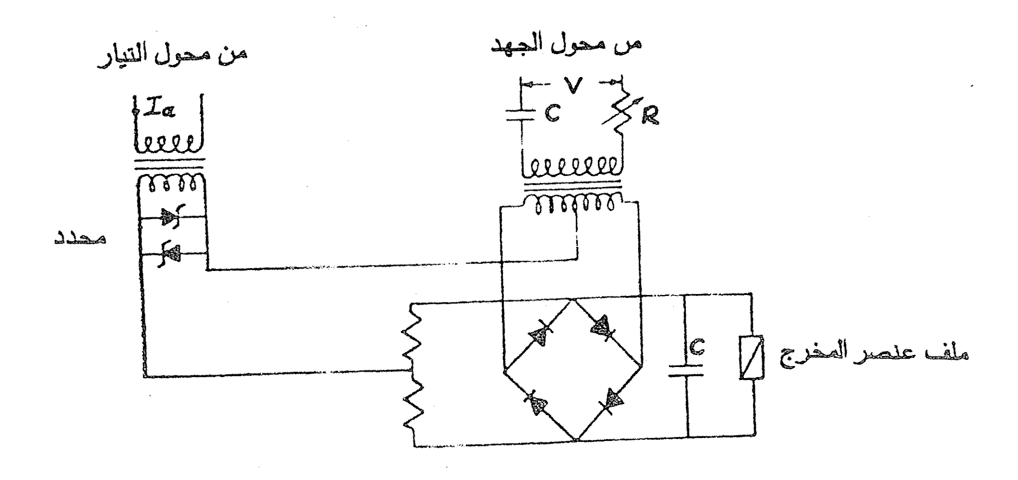
ب) متمم إتجاهى بإستخدام قنطرة توحيد

Directional Relay with Rectifier Bridge

يبين شكل *(6-29)* مكونات هذا المتمم وتعتمد فكرته على مقارن الزاوية *(Phase comparator)* ومنه نحصل على أقصى مخرج عندما يكون الجهد والتيار فى إتفاق وجهى ، وعادة تستخدم التوصيلة $90°$ فى المتممات الاتجاهية للكشف عن أعطال الأوجه . إذ يحتوى المتمم على تركيبة مناسبة من R , C وذلك ليكون التيار المار نتيجة الجهد متقدم بزاوية $30°$ ، أى أن يكون هذا التيار فى إتفاق وجهى مع تيار العطل .



شكل (6-28) متمم اتجاهي استاتيكي باستخدام بللورات « هول »



شكل (6-29) متمم اتجاهي باستخدام قنطرة توحيد

ويحتوى المتمم الإتجاهى للأعطال الأرضية على تركيبة من R , L بحيث يكون التيار المار نتيجة الجهد المتبقى متأخراً بزاوية $45°$ ويصبح فى إتفاق وجهى مع مركبة التتابعية الصفرية لتيار القصر .

ج) متمم إتجاهى بإستخدام مقارن جيبى لحظى

Directional Relay with Instantaneous Sine Comparator

يغذى المتمم بتيار الوجه A (أى I_a) وبالجهد بين الوجهين B , C (أى V_{bc}) .

يسلط الجهد أولاً على دائرة نبضات *(Pulses circuit)* للحصول على نبضة عند نقط التقاطع الصفرى لموجة الجهد V_{bc} ، ثم تقارن النبضة وتيار العطل بدالة *AND* ، كما فى شكل *(6-30)* أ ، نحصل على مخرج من دالة *AND* عندما تكون I_a متقدمة عن V_{bc} بزاوية θ والتى تتراوح بين الصفر و $180°$ كما فى رسم الموجات الموضح فى شكل *(6-30)* ب .

وعند إستخدام تيار مدخل I_a وجهد مدخل V_a فيجب أن تكون زاوية I_a فى الحدود من $+90°$: $-90°$ بالنسبة للجهد V_a حتى نحصل على مخرج من دالة *AND* وفى هذه الحالة يعرف المقارن بأنه مقارن الزاوية $90°$ *(90° Phase comparator)* . ويعتبر هذا الجزء هو عنصر تحكم إتجاهى *(Directional control)* لمتمم وقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى .

د) متمم إتجاهى بإستخدام مقارن القيمة

Directional Relay with Amplitude Comparator

فى هذا النوع تستخدم قنطرتى توحيد ، تغذيان من خلال محولين مساعدين يكون المدخل لهما هو $(V/Z_r + I)$, $(V/Z_r - I)$ حيث Z_r معاوقة لتحويل جهد المدخل الى تيار ، كما فى شكل *(6-31)* .

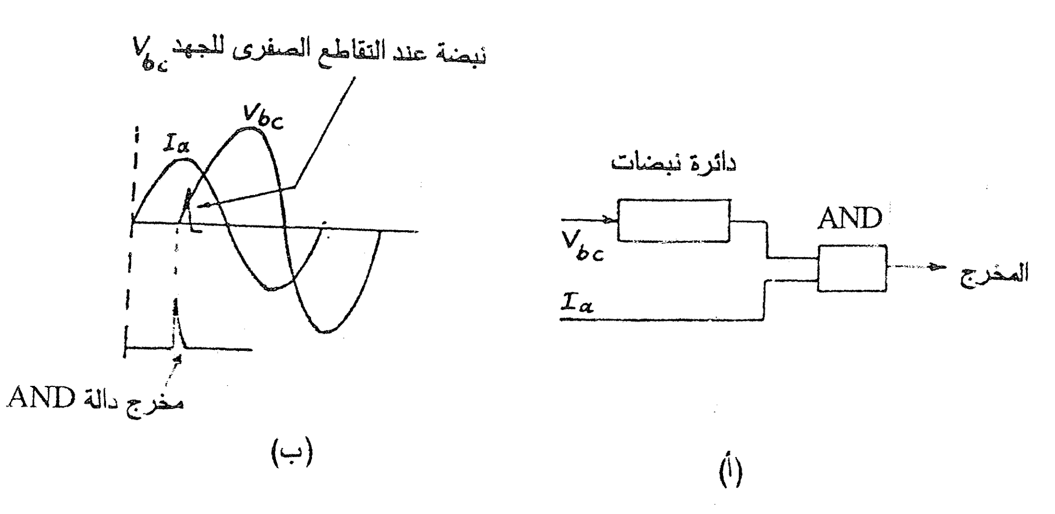
وسيتم توضيح هذا النوع عند التعرض للوقاية المسافية .

أمثلة لمتممات الوقاية الإتجاهية الاستاتيكية

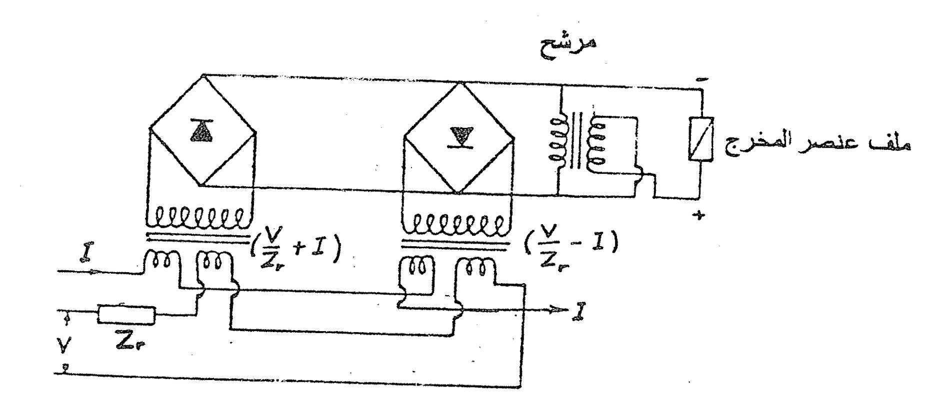
1) متمم الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى

Directional Overcurrent Relay

بمعرفة الزاوية بين الجهد والتيار يمكن تحديد إتجاه سريان القدرة ، وذلك عن



شكل (30-6) متمم اتجاهى باستخدام مقارن جيبى لحظى



شكل (31-6) متمم اتجاهى باستخدام مقارن القيمة

طريق ضبط الزاوية بقيمة معينة ، فإذا تعدتها فإن العنصر الإتجاهى يعمل إذا كان مصحوباً بزيادة تيار ، لذلك يغذى المتمم بكل من التيار I والجهد V

وفى متممات الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى الكهرومغناطيسية ، يتسبب هبوط الجهد ، عند حدوث عطل قريب من محولات الجهد ، إلى مشاكل فى إشتغال المتمم ، بينما هذا الهبوط فى الجهد لا يسبب أى مشاكل فى الأنواع الاستاتيكية لأن المقارنات المستخدمة للعنصر الإتجاهى تعمل بدقة عالية لحدود إنخفاض الجهد حتى *1%* من قيمة جهد النظام .

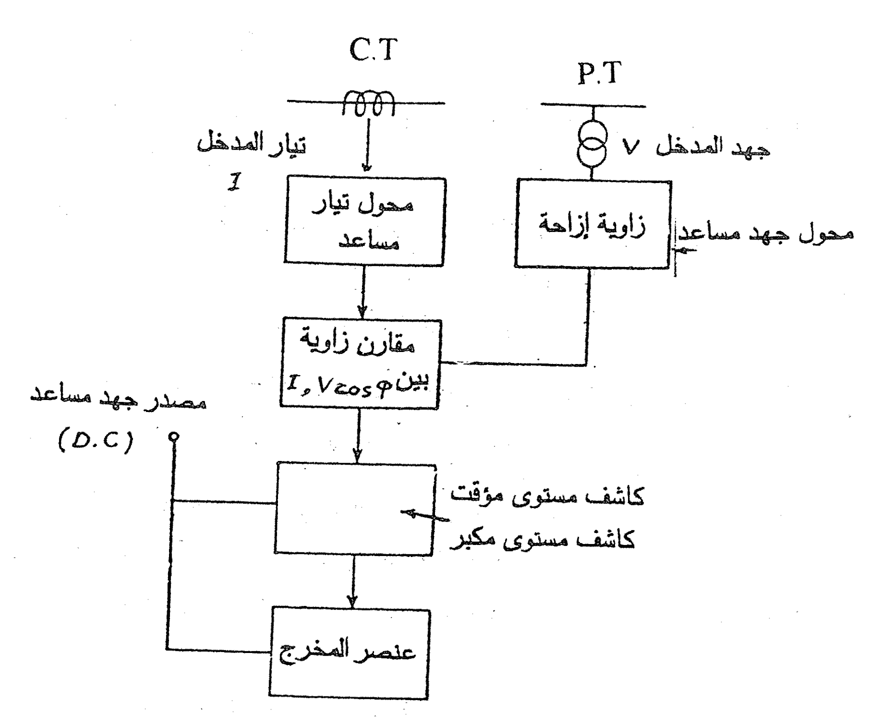
يبين الشكل *(6-32)* تمثيل لمتمم وقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى الإستاتيكى حيث يسلط الجهد على عنصر إزاحة الزاوية ومحول جهد مساعد فنحصل على المركبة $V \cos \phi$ ويسلط المدخل الاخر وهو التيار على محول تيار مساعد ثم تقارن المركبتين $V \cos \phi$, I بمقارن زاوية ، ونحصل منه على مخرج يمر على كاشف مستوى ثم مكبر وعنصر مخرج .

فى حالة الإحتياج إلى تأخير زمنى يضاف مؤقت .

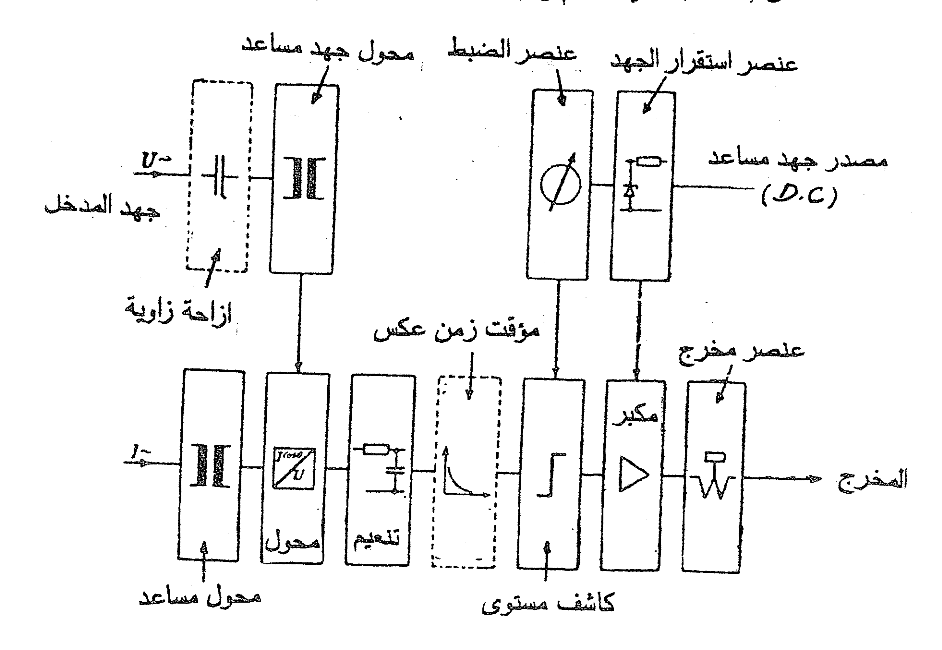
وبفرض أن زاوية المتمم α (أحياناً يطلق عليها زاوية الخصائص *The characteristic angle*) ، تساوى الزاوية ϕ (الزاوية بين الجهد والتيار) نحصل على أقصى حساسية . وهذا يعنى أن المتمم يعمل عندما يكون التيار المسلط I أكبر من قيمة الضبط I_S ، بمعنى آخر عندما $I \cos (\phi - \alpha) \geq I_S$

ويوضح شكل *(6-33)* تمثيل لنوع آخر لمتمم وقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى الاستاتيكى ، حيث يسلط جهد المدخل أولاً على عنصر زاوية إزاحة عبارة عن مكثف نحصل منه على زوايا بين $-90°$: $90°$ مثلاً ، ثم يتم توحيد المدخلين من خلال قنطرتين ومقاومة على التوازى مع مخرجيهما ، وتكون القيمة المتوسطة للجهد *(Average voltage)* بين طرفى المقاومة مساوية للفرق بين جهدى القنطرتين ، ويغذى هذا الجهد دائرة تنعيم ، وكاشف مستوى ، وعنصر مخرج .

وعندما تتساوى الزاويتين ϕ , α فإن التيار المار بالمقاومة يكون فى نفس الإتجاه ، وحيث أن القيمة المتوسطة للجهد (بين طرفى المقاومة) يتناسب مع $I \cos (\phi - \alpha)$ عندئذ نحصل على أقصى حساسية ، أى أن المتمم يعمل عندما يكون التيار المار به



شكل (6-32) تمثيل لمتمم وقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى الاستاتيكى



شكل (6-33) تمثيل لمتمم وقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى الاستاتيكى

له نفس قيمة تيار الضبط I_S

وكلما زاد الفرق بين الزاويتين α , ϕ (عند قيمة ثابتة للتيار I) فإننا نحصل على قيمة أصغر لمتوسط الجهد .

بعد ذلك تسلط القيمة المتوسطة للجهد على دائرة تنعيم ثم تقارن بقيمة ضبط كاشف المستوى . ويمكن عن طريق زيادة ثابت الزمن لدائرة التنعيم أن نحصل على تأخير زمنى يخضع للخاصية العكسية *(Inverse characteristic)* .

وإذا كانت قيمة المدخل لكاشف المستوى أكبر من قيمة الضبط نحصل على إشارة مخرج ، تكبر وتعمل على تشغيل عنصر المخرج للمتمم .

ويمكن تمثيل المتمم الإتجاهى بدائرة مقارن من النوع التكاملى *(Integrating type phase comparator)* ، كما فى شكل *(6-34)* وتتكون الدائرة من عنصر مدخل ودالة *AND* ودائرة تكامل وكاشف مستوى وعنصر مخرج . ويتكون عنصر المدخل من :

* محول جهد مساعد ومرشح ومكبر ودائرة إطلاق «شميت» .
* محول تيار مساعد ومرشح ومكبر ودائرة إطلاق «شميت» .

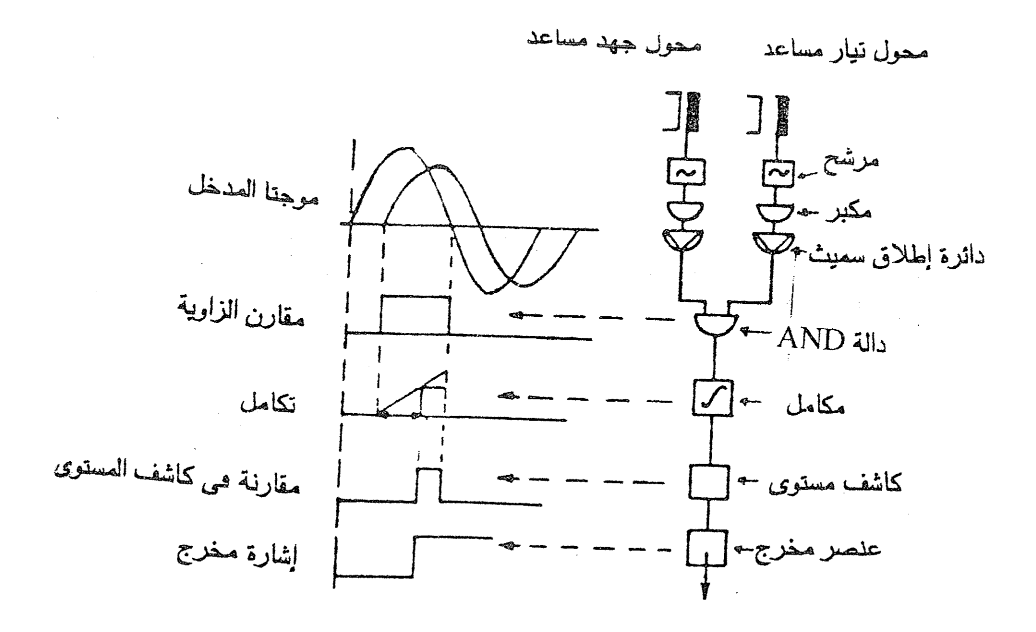
ويبين شكل *(6-35)* مكونات متمم اتجاهى - صناعة ألمانى - حيث يستخدم كعنصر إتجاهى مع متمم وقاية ضد زيادة التيار ، ثلاثى الأوجه ، وقد تم توضيح مكونات الوجه *A* فقط ، بينما الوجهين الآخرين *B , C* غير موضحين بالشكل لأنهما متماثلان وتتكون الدائرة من :

أ) مسار التيار :

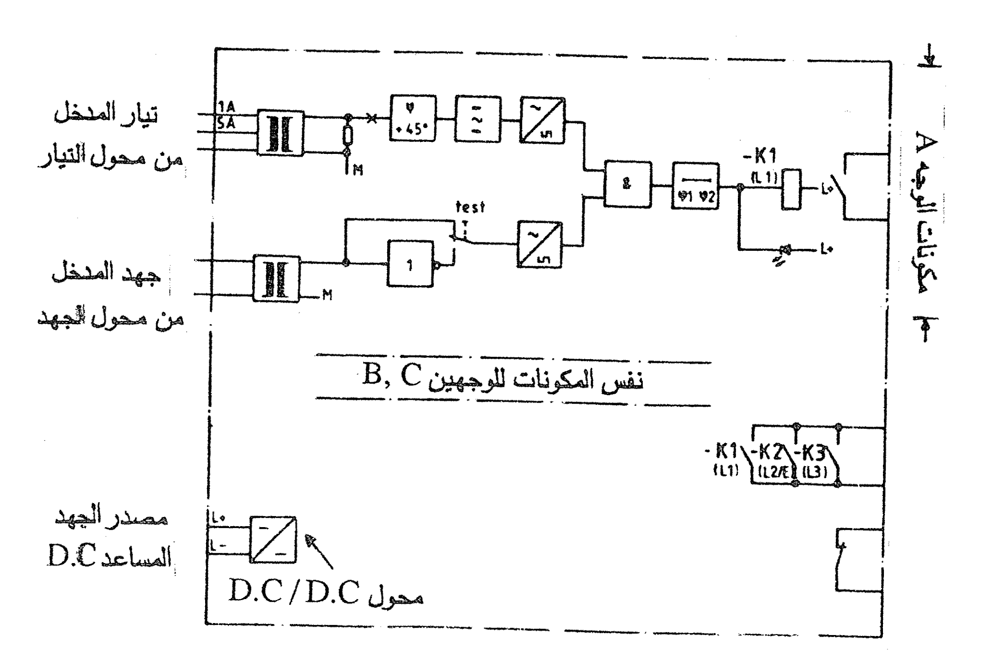
* محول تيار مساعد ، ملفه الثانوى متصل على التوازى بمقاومة ، لتحويل التيار إلى جهد .
* دائرة إزاحة الزاوية ، والتى يتم فيها إزاحة الجهد بزاوية $45°$
* مرشح .
* دائرة التقاطع الصفرى (التى تحول الموجة المترددة إلى مربعة *Square*) .

ب) مسار الجهد :

* محول جهد مساعد .



شكل (6-34) تمثيل متمم اتجاهى كمقارن زاوية من النوع التكاملى



شكل (6-35) مكونات متمم إتجاهى

* دائرة التقاطع الصفرى .

ج) دالة *AND*

د) مؤقت قياس تطابقى *Coincidence measuring timer*

إذا كانت فترة التطابق أكبر من $90°$ فإن المؤقت يعمل ويعطى إشارة لا تقل عن دورة واحدة لإمداد ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله ونحصل على دلالة الإشتغال عن طريق إشتغال ديود الإشعاع الضوئى (*LED*) .

وتكون البيانات الفنية للمتمم هى :

التـيار المقنن : *5* أمبير أو *1* أمبير .

الجهـد المقنن : من *100* إلى *130* ڤولت .

الجهد المساعد : *24/48* ڤولت (عن طريق مبدل تيار مستمر / تيار مستمر *DC/DC convertor*) .

يخضع عمل المتمم للخاصية الإتجاهية الموضحة فى شكل (*6-36*) .

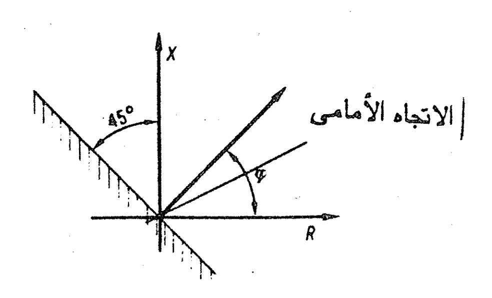
ويوضح شكل (*6-37*) متمم وقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى ذو زمن محدد - صناعة سويسرية - والذى يمكن إستخدامه لوقاية الثلاثة أوجه أو وجهين والأرضى - وتحتوى واجهة المتمم على :

* ثلاثة إشارات بيان للأوجه أو لوجهين والأرضى .
* عنصر ضبط قيمة تيار اللقط (أمبير) .
* عنصر ضبط قيمة التأخير الزمنى (ثانية) .

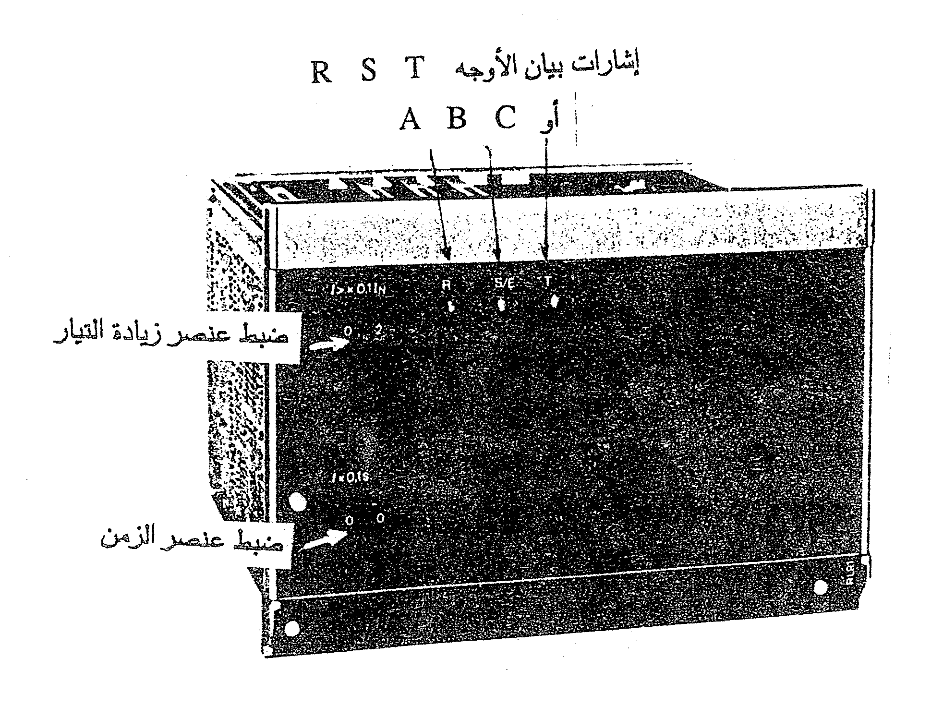
ويتضح من الشكل (*6-38*)أ عناصر أحد الأوجه وليكن الوجه *A* مثلاً ، حيث يتغذى بالمدخلين الآتيين :

* التيار I_a الذى يغذى محول تيار مساعد (من النوع ذى الثغرة الهوائية) ثم يمر على دائرة إزاحة الزاوية (بقيمة $90°$) .
* الجهد V_{bc} الذى يغذى محول جهد مساعد .

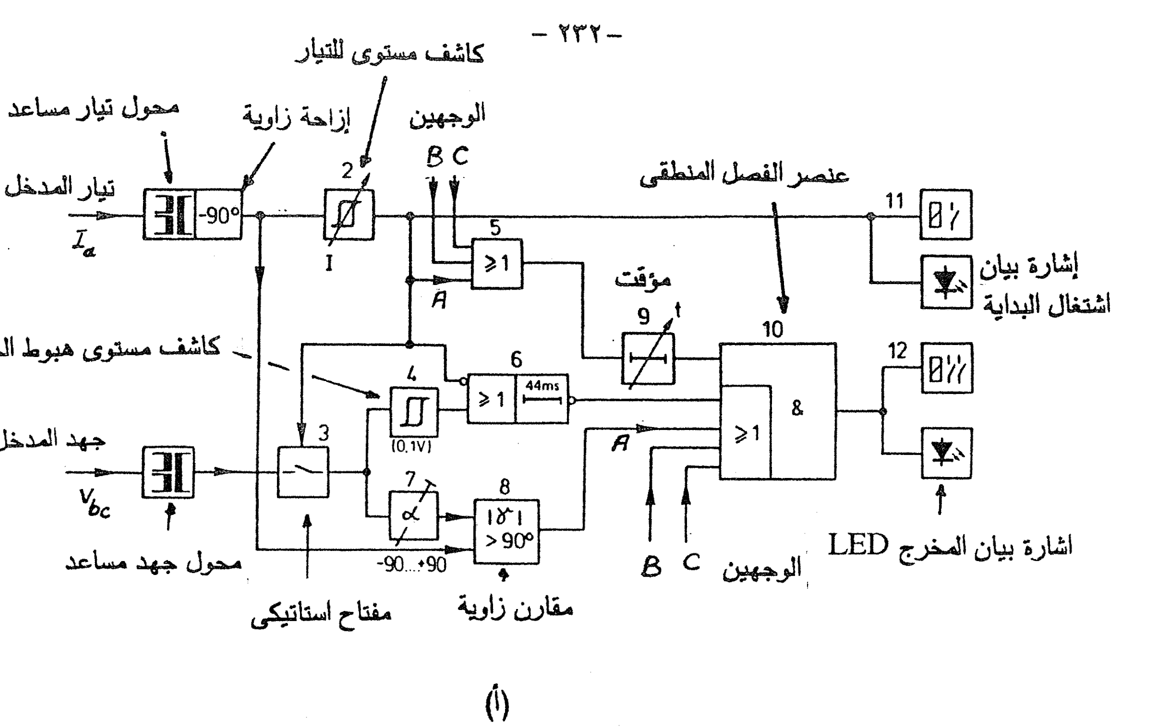
تنقسم مكونات كل وجه فى المتمم إلى :



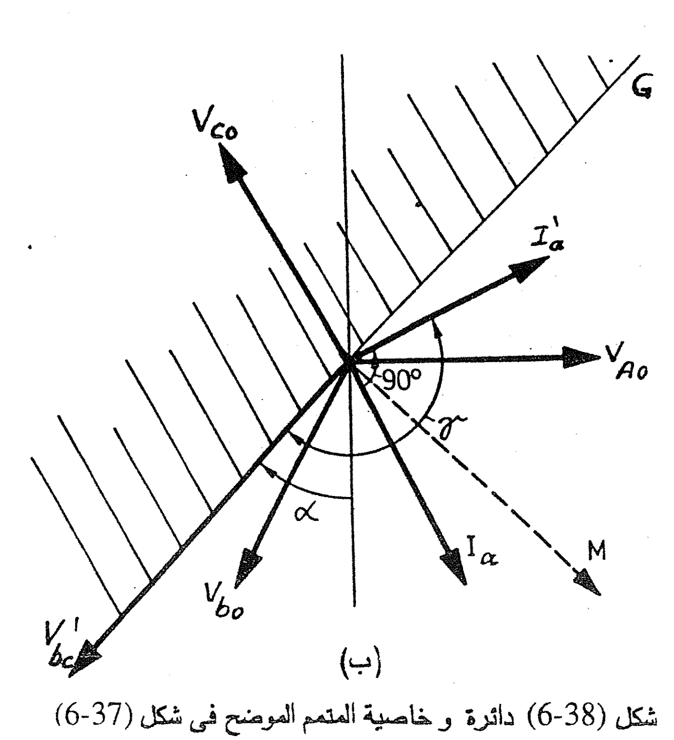
شكل (6-36) خاصية المتمم الموضح فى شكل (6-35)



شكل (6-37) متمم وقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى



(أ)



(ب)

شكل (6-38) دائرة و خاصية المتمم الموضح فى شكل (6-37)

1) عنصر وقاية ضد زيادة التيار ذو تأخير زمنى ويتكون من :
أ) كاشف مستوى تيار الضبط وهو العنصر رقم 2 . والذى يغذى إشارة بيان بداية الإشتغال *(Starting indicator)* ويغذى أيضاً إشارة دالة *OR* (والتى تغذى أيضاً من الوجهين الآخرين) .
ب) مؤقت *(timer)* يتغذى من مخرج دالة *OR*

2) عنصر وقاية إتجاهية ويتكون من :
مقارن زاوية يتغذى من التيار الثانوى مباشرة بينما يسلط عليه الجهد من خلال مفتاح إستاتيكى *(Static switch)* وعنصر إزاحة الزاوية ($+90°$: $-90°$) .

3) العنصران السابقان يغذيان دائرة الفصل المنطقية *(Tripping logic)* وهى عبارة عن دالتى *OR , AND* ونحصل منها على مخرج فى حالة إشتغال عنصر زيادة التيار والعنصر الإتجاهى معاً .

وفيمايلى شرح لعمل المتمم :

حيث أن الجهد المغذى للمقارن يتم من خلال المفتاح الاستاتيكى وعنصر أزاحة الزاوية ، لذا يجب أن يعمل أولاً المفتاح الاستاتيكى ، أى يجب وصول قيمة التيار الى قيمة الضبط (أى حدوث زيادة تيار) معنى هذا أن عنصر الإتجاه لا يعمل إلا فى حالة حدوث زيادة التيار . ويضبط عنصر إزاحة الزاوية بين القيمتين $+90°$, $-90°$ حيث أن قيمة الضبط تعطى الزاوية التى عندها يقاس الإتجاه .

ويشتغل مقارن الزاوية عندما تتعدى الزاوية γ بين مدخليه القيمة $90°$ ويوضح الشكل (6-38)ب أن الزاوية γ هى الزاوية بين الجهد V_{bc} بعد إزاحته بزاوية α والتيار I_a بعد إزاحته بزاوية $90°$ ، وذلك عندما تساوى زاوية القياس $45°$ متأخرة ويحدد الخط G حدود المنطقة التى يعمل فيها المقارن ، فإذا وقع المتجه I_a على يمين الخط فإن المقارن يعمل ، وإذا وقع على يساره فإن المقارن لا يعمل .

فعند حدوث مخرج من مقارن الزاوية فلا نحصل على مخرج من عنصر الفصل المنطقى إلا بعد إنتهاء عمل المؤقت الموجود بدائرة عنصر الوقاية ضد زيادة التيار . أما عندما يحدث عطل على الثلاثة أوجه على مسافة قريبة من الخط المركب عليه المتمم فإن الجهد يمكن أن ينخفض إلى *0.1* من قيمة الجهد المقنن (والذى يكون من

100 إلى *130* ڤولت تقريباً) عندئذ يلغى عمل العنصر الإتجاهى عن طريق إشتغال كاشف المستوى رقم *4* والمضبوط على قيمة *0.1* من الجهد المقنن والذى بدوره يشغل مؤقت مضبوط على زمن يساوى *44* مللى ثانية (بعدها يلغى تأثير العنصر الإتجاهى) .

ويوضح شكل *(6-39)* المكونات الكاملة للثلاثة أوجه لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى الاستاتيكى .

2) متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى

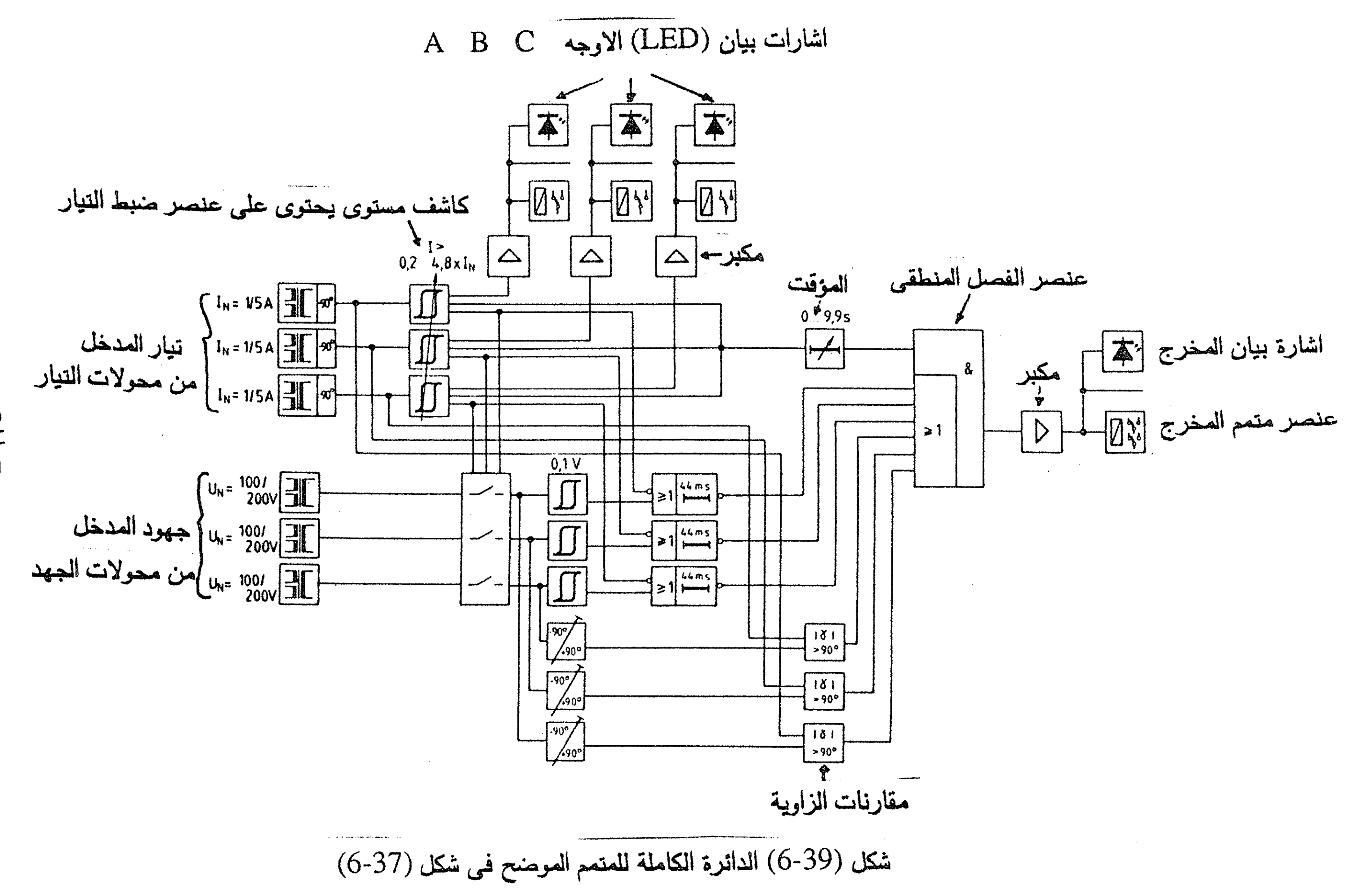
Directional Earth Fault Relay

يعتمد نوع متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى الاستاتيكى على نوع تأريض النظام أو الشبكة ، فمثلاً الشبكة الموضحة فى شكل *(6-40)* مؤرضة من خلال معاوقة مناسبة لتيار التسرب الأرضى بقيمة حوالى *80* مللى أمبير . يستخدم متمم يتكون من :

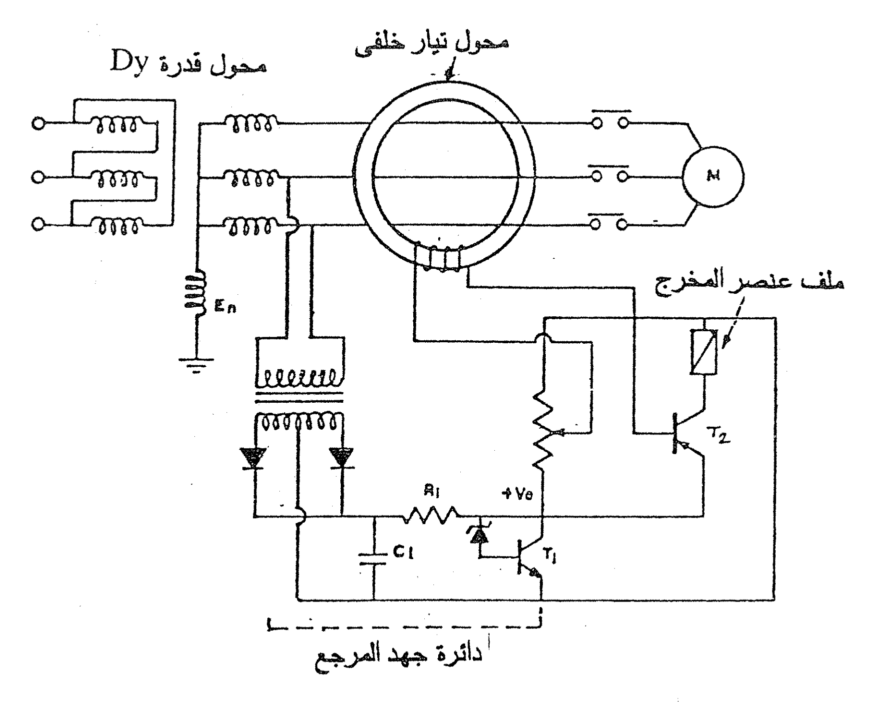
* دائرة توحيد التيار ونحصل منها على مصدر جهد مستمر *10* ڤولت .
* دائرة إستقرار الجهد *(Voltage stabilizing circuit)* .
* مقاومة متغيرة ـ ترانزستور ـ عنصر المخرج .

تكون قاعدة الترانزستور T_2 سالبة بالنسبة للباعث وتتسبب فى مرور تيار صغير بالقاعدة ، وهذا يؤدى الى حفظ الترانزستور T_2 فى حالة توصيل *(Conducting)* ، أى إشتغال ملف عنصر المخرج . ويتغذى المتمم بالتيار الثانوى لمحول تيار حلقى ، حيث أن طرفى الملف الثانوى لمحول التيار موصلة بطرف القاعدة للترانزستور T_2 وبالطرف المتحرك للبوتنشومتر *(Potentiometer)* . وهذا يمرر تيار الحياز *(bais current)* خلال الملف الثانوى .ويجب ملاحظة أنه فى حالة عدم وجود تسرب أرضى لا يمر تيار بالملف الثانوى وبالتالى لا يتحول الترانزستور T_2 إلى حالة التوصيل . وتعتمد دقة المتمم على قيمة تيار الحياز الذى يحول الترانزستور T_2 إلى حالة التوصيل ، والذى يتم التحكم فيه عن طريق البوتنشومتر .

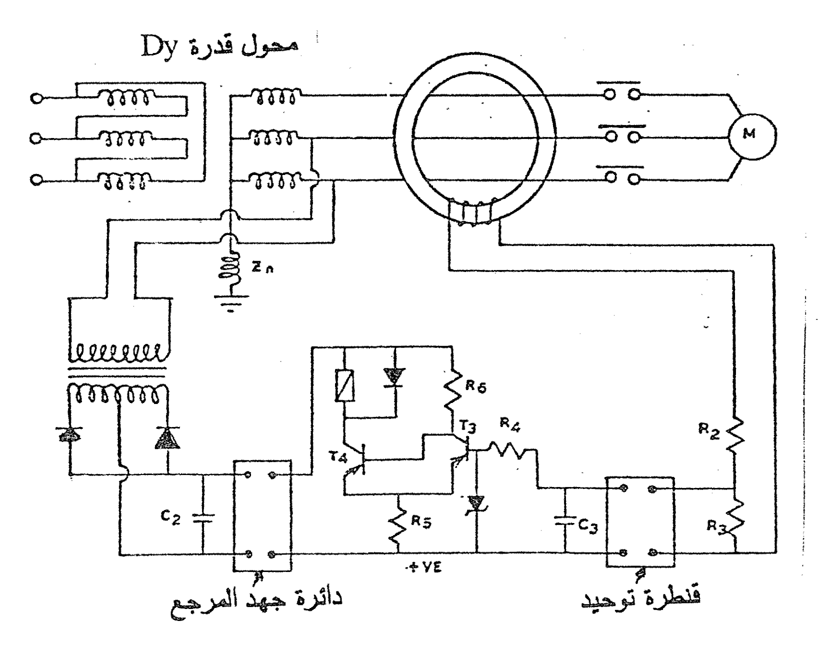
ونجد فى شكل *(6-41)* نوع آخر لمتمم إتجاهى ، حيث يوصل الملف الثانوى لمحول التيار من خلال المقاومتين R_2 , R_3 . ويتناسب الجهد بين طرفى المقاومة R_3



شكل (6-39) الدائرة الكاملة للمتمم الموضح فى شكل (6-37)



شكل (6-40) متمم الوقاية ضد التسرب الارضى الاتجاهى



شكل (6-41) متمم الوقاية ضد التسرب الارضى الاتجاهى

مع تيار العطل ، ويشكل الترانزستوران T_4 , T_3 دائرة ثنائى الإستقرار *(Bi-stable circuit)* والتى تغذى بمصدر جهد مساعد *10* ڤولت *(D.C)* . وفى حالة عدم وجود أعطال ، فلا يوجد جهد على المقاومة R_3 ويكون الترانزستور T_3 فى حالة فصل *(OFF)*

يمر تيار الباعث ـ القاعدة من الطرف الموجب خلال المقاومة R_5 وقاعدة وباعث الترانزستور T_4 . وعندما يكون T_4 فى حالة توصيل يمد ملف عنصر المخرج بجهد التشغيل . فيعطى أمر فصل لقاطع التيار . ويحدث ذلك عندما يتحول تيار العطل الأرضى إلى جهد خلال المقاومة R_3 ، ويصبح الترانزستور T_3 حياز أمامى أى يتحول إلى حالة التوصيل .

عند لحظة الإطلاق للترانزستور T_3 لتحويله لحالة التوصيل ، لا يوجد جهد على وصلة القاعدة ـ الباعث للترانزستور T_4 ولا يمر تيار بالقاعدة . وهذه الحالة تساعد الترانزستور T_4 للتحول لحالة الفصل *(OFF)* ويمنع الجهد عن ملف عنصر المخرج .

وإذا كانت نقطة تعادل الشبكة أو النظام معزوله فإنه يفضل إستخدام نظام الوقاية الموضح بشكل *(6-42)* ، حيث يتم تغذية المتمم بالتيار الثانوى لمحول تيار حلقى ، وبجهد مركبة التتابعية الصفرية للجهد *(Zero-sequence voltage)* ، من مخرج الدلتا المفتوحة لمحول الجهد . ويتم إزاحة التيار الثانوى بزاوية إزاحة مناسبة ، ثم يتم تكبيره وإستخدامه لتغذية مقارن الزاوية للموجة الكاملة *(Full wave phase comparator)* ، ويكون المدخل الآخر للمقارن عبارة عن جهد الدلتا المفتوحة V_O ويكون جهد مخرج محول التيار الحلقى (المتناسب مع تيار العطل الأرضى) V_{in} متعامداً على جهد الدلتا المفتوحة V_O ، لذلك يمكن عمل زاوية إزاحة لجهد مخرج محول التيار الحلقى ، حتى يكون V_{in} , V_O فى إتفاق وجهى *(In phase)* .

كما يسلط جهد موجب ثابت كمرجع V_{ref} على المدخل المقلوب *(Inverting input)* لدائرة كاشف مستوى القطبية بحيث يظل مخرج الدائرة سالباً بالنسبة للأرضى وبالتالى يظل الترانزستور T فى حالة فصل *(OFF)* . وعند حدوث عطل خارجى فإن جهد النقطة X يكون سالباً بالنسبة لجهد النقطة Y (أو الأرض) وبالتالى يظل جهد مخرج كاشف مستوى القطبية سالباً .

بينما عند حدوث عطل داخلى فإن قطبية النقطة X تصبح موجبة بالنسبة للأرض

وتكون قيمة الجهد كافية للتغلب على جهد المرجع الموجب المسلط على المدخل المقلوب لكاشف القطبية . أى أن مخرج دائرة كاشف القطبية يتغير إلى القيمة الموجبة والتى تحول الترانزستور T إلى حالة التوصيل *(ON)* وبالتالى يمد ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله .

ويوضح شكل *(6-43)* متمم آخر يستخدم لشبكة معزولة أو مؤرضة من خلال مقاومة كبيرة جداً أو خلال ملف إخماد . وتحتوى دائرة القياس على محولين مساعدين ، أحدهما يتغذى بمجموع التيارات المارة بالكابل ، وبالتيار المتناسب مع جهد الإزاحة أى نحصل من مخرج هذا المحول على $(\bar{I}_u + \bar{I}_i)$ ، وبينما يتغذى المحول الآخر بالفرق بين القيمتين أى نحصل من مخرجه على $(\bar{I}_u - \bar{I}_i)$ بعدها يتم توحيد المخرجان وطرحهما ، أى يصبح المخرج i_Δ يساوى .

$$i_\Delta = |\bar{i}_u + \bar{i}_i| - |\bar{i}_u - \bar{i}_i|$$

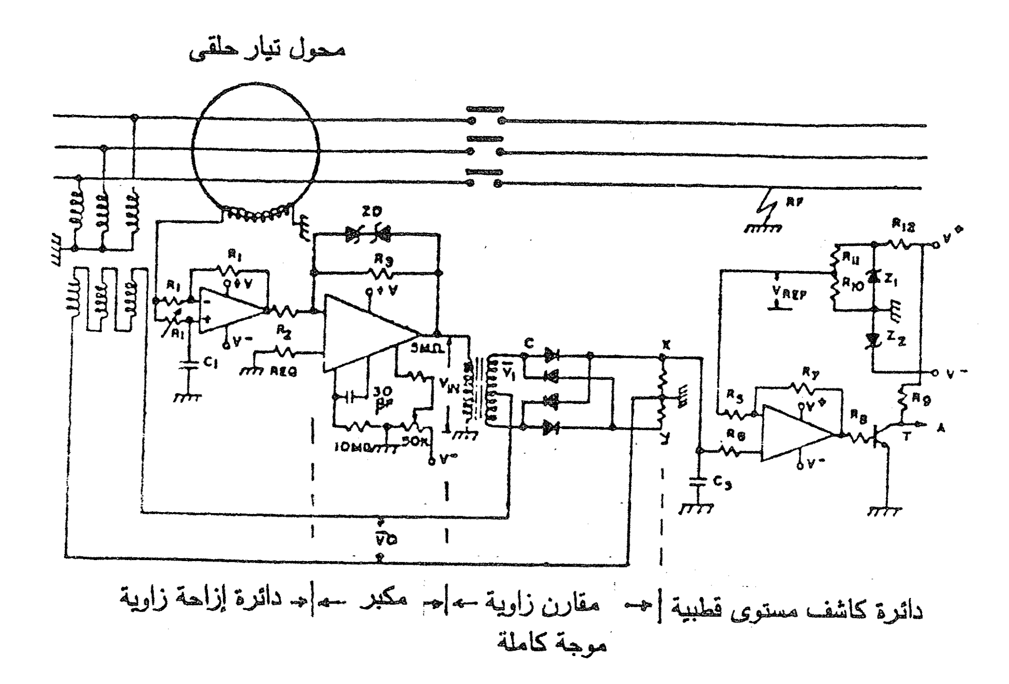
وتشير إشارة هذا المخرج إلى إتجاه تيار عطل الأراضى عند نقطة القياس ، بالنسبة إلى جهد الإزاحة .

ونحصل على إشارة مخرج من دائرة كاشف المستوى عندما تتحقق العلاقة :

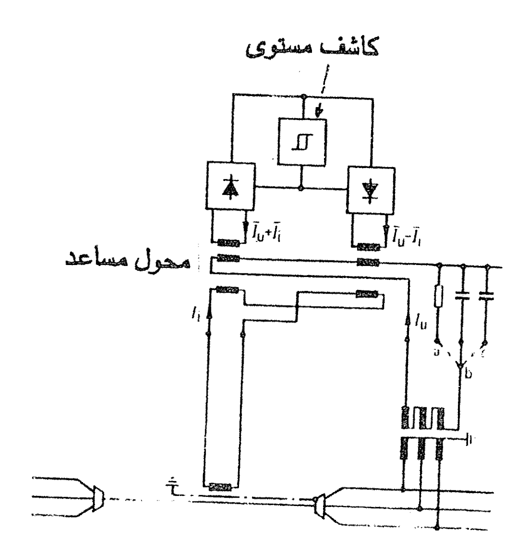
$$i_\Delta > Constant$$

وإعتماداً على نوع المتمم فإن عنصر القياس يمكن أن يكون لقياس المركبة الفعالة (أى دائرة جيب تمام الزاوية) ويخضع للمعادلة $I_E \cos\phi$ لمدخل مقاومة *(Resistive input)* ويوضح شكل *(6-44)*أ منطقة إشتغال العنصر الإتجاهى ، أو يكون عنصر القياس المركبة غير الفعالة (أى دائرة جيب الزاوية) ويخضع للمعادلة $I_E \sin\ \phi$ لمدخل سعوى *(Capacitive input)* ويوضح شكل *(6-44)*ب منطقة إشتغال هذا العنصر . أو يقيس عنصر القياس القيم المتوسطة للزاوية °45 ويخضع للمعادلة $I_E \cos(\phi - 45°)$ --- لمدخل مكون من مقاومة ومكثف على التوالى ، ويبين شكل *(6-44)*ج منطقة الإشتغال فى هذه الحالة .

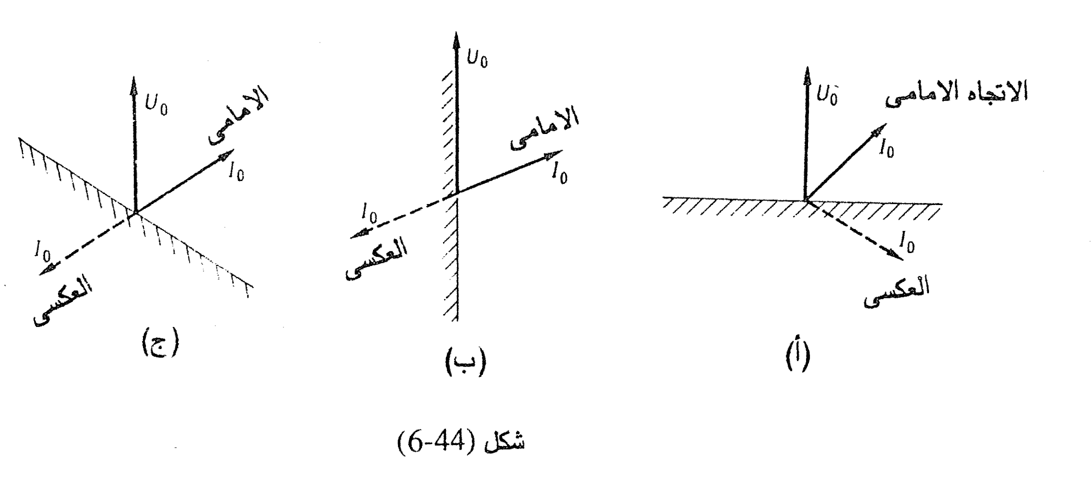
ونلاحظ الدائرة الكاملة لمكونات متمم الوقاية ضد التسرب الأرضى الاتجاهى فى شكل *(6-45)* المذكورة فى شكل *(6-43)* ومنها يتضح إحتواء المتمم على إشارات بيان



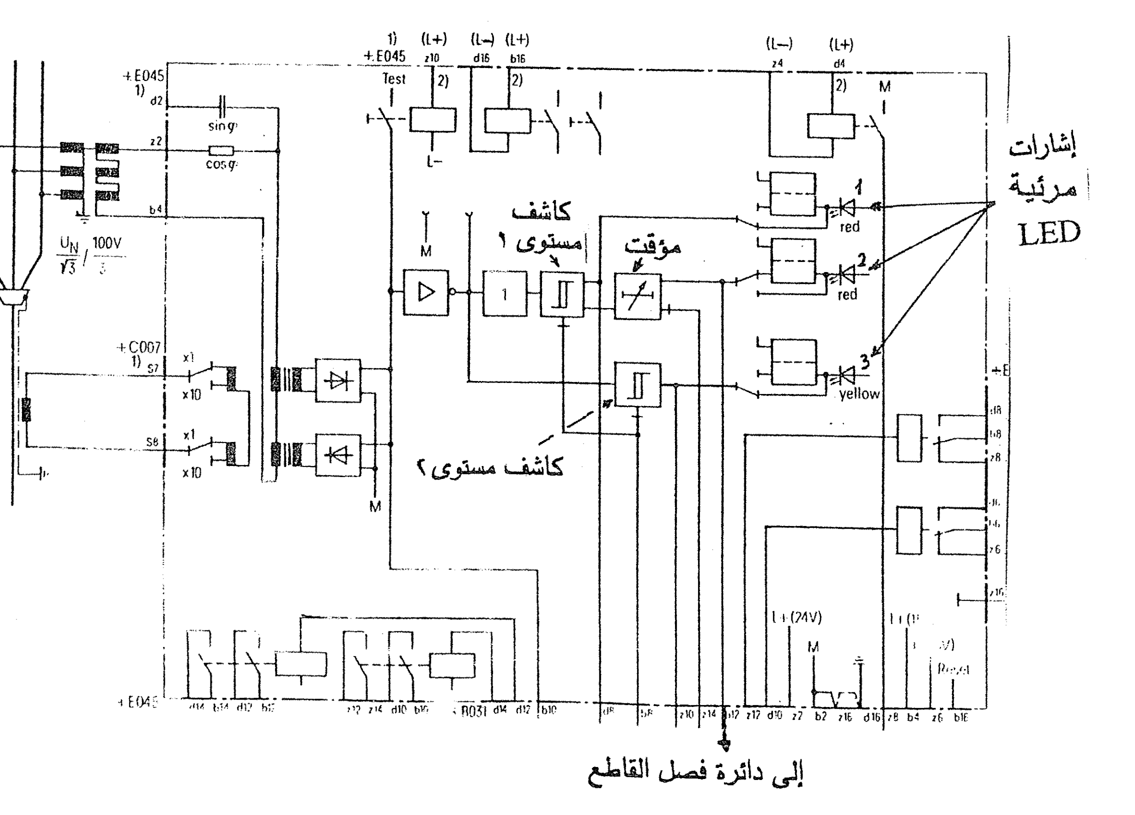
شكل (6-42) متمم الوقاية ضد التسرب الارضى الاتجاهى



شكل (6-43) متمم الوقاية ضد التسرب الارضى الاتجاهى



شكل (6-44)



شكل (6-45) الدائرة الكاملة للمتمم الموضح فى شكل (6-43)

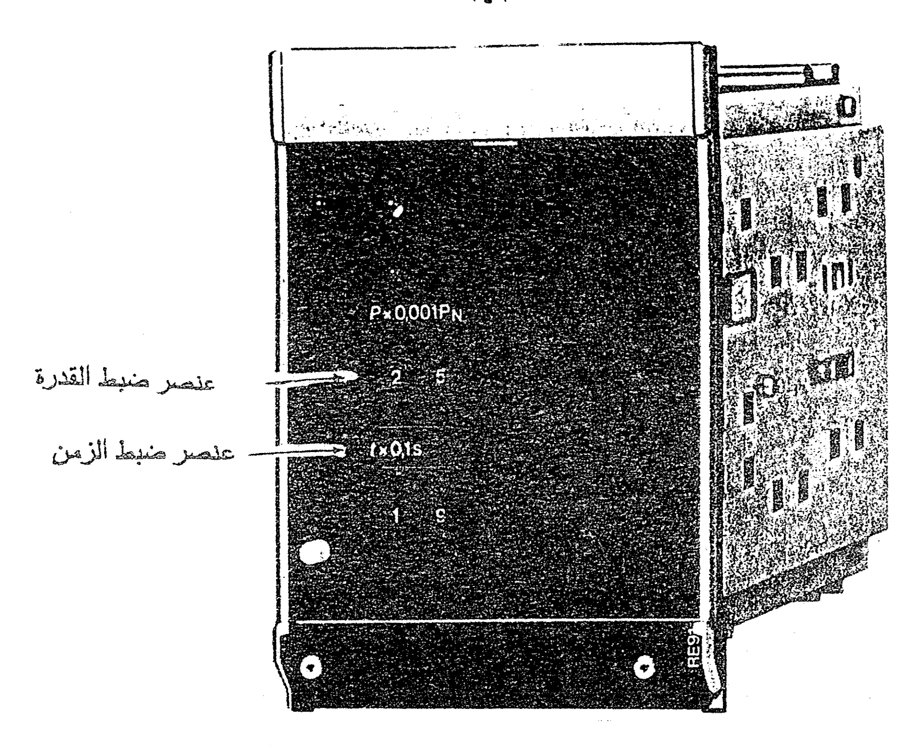
(LED) تختص بإعطاء دلالة للحالات الآتية :

* إشتغال المتمم فى الإتجاه المطلوب (إشارة بيان رقم *1*) .
* إشتغال المتمم فى عكس الإتجاه (إشارة بيان رقم *2*) .
* إشتغال المتمم فى الإتجاه المطلوب وإعطاء إشارة بفصل القاطع (إشارة بيان رقم *3*) .

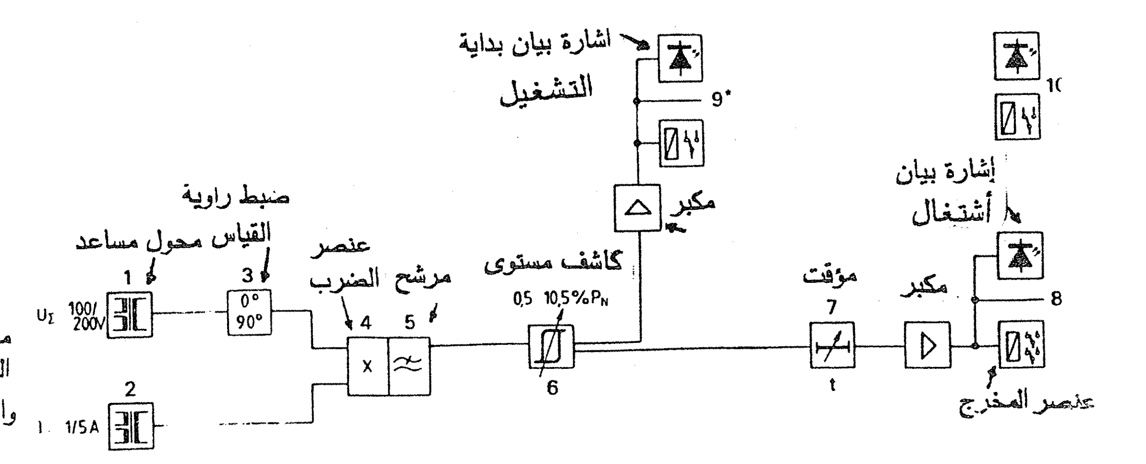
كذلك يوجد كاشفى مستوى أحدهما يعمل عند إشتغال المتمم فى الإتجاه المطلوب ومنه إلى مؤقت ثم إلى عنصر المخرج ، وبينما يعمل الآخر عند إشتغال المتمم فى عكس الإتجاه المطلوب ويؤدى إلى منع إشتغال عنصر المخرج .

ويوضح شكل *(6-46)* متمم وقاية ضد التسرب الأرضى الإتجاهى الإستاتيكى - صناعة سويسرية - ويستخدم لكشف الأعطال الأرضية لخطوط الجهد المتوسط والعالى - سواء كانت الشبكة الكهربائية معزولة أو مؤرضة . وتضبط زاوية القياس للمتمم عند $0.0°$ إذا كانت الشبكة الكهربائية مؤرضة من خلال ملف أو مقاومة وتضبط عند $90°$ إذا كانت الشبكة معزولة .

نجد المكونات الرئيسية للمتمم موضحة فى شكل *(6-47)* حيث يوصل مدخلى التيار والجهد من خلال محولات مساعدة لتخفيض قيمتى الجهد والتيار للقيم المناسبة للمكونات الاليكترونية للمتمم . ومن خلال العنصر *3* يتم إختيار زاوية القياس للمتمم (أما $0.0°$ أو $90°$) وتؤخذ القدرة الحقيقية المقاسة من عنصر الضرب *(Multiplier)* رقم *4* ، والذى يتم فيه ضرب القيم اللحظية لتيار وجهد نقطة التعادل . وتتناسب قيمة المخرج مع القيمة المتوسطة للقدرة الفعالة أو القدرة غيرالفعالة (معتمداً على زاوية القياس) . ثم يمر المخرج على مرشح ، ثم على دائرة كاشف مستوى والتى فيها تقارن قدرة التتابعية الصفرية مع قيمة الضبط والتى تمثل نسبة من القدرة الكلية (حدود الضبط من 0.5% إلى 10.5% من قدرة التتابعية الصفرية الكلية) ، فإذا كانت قيمة المدخل أكبر من قيمة الضبط نحصل على إشارة مخرج من كاشف المستوى تعمل على تشغيل إشارة بيان بداية إشتغال المتمم ، وفى نفس اللحظة يتم تشغيل مؤقت مضبوط على تأخير زمنى معين ومنه إلى عنصر المخرج مع إشارة بيان أخرى لبيان الإشتغال الكامل للمتمم .



شكل (6-46) متمم وقاية ضد التسرب الارضى الاتجاهى من النوع الاستاتيكى



شكل (6-47) دائرة المتمم الموضح فى شكل (6-46)

وتعرف قدرة التتابعية الصفرية من المعادلة :

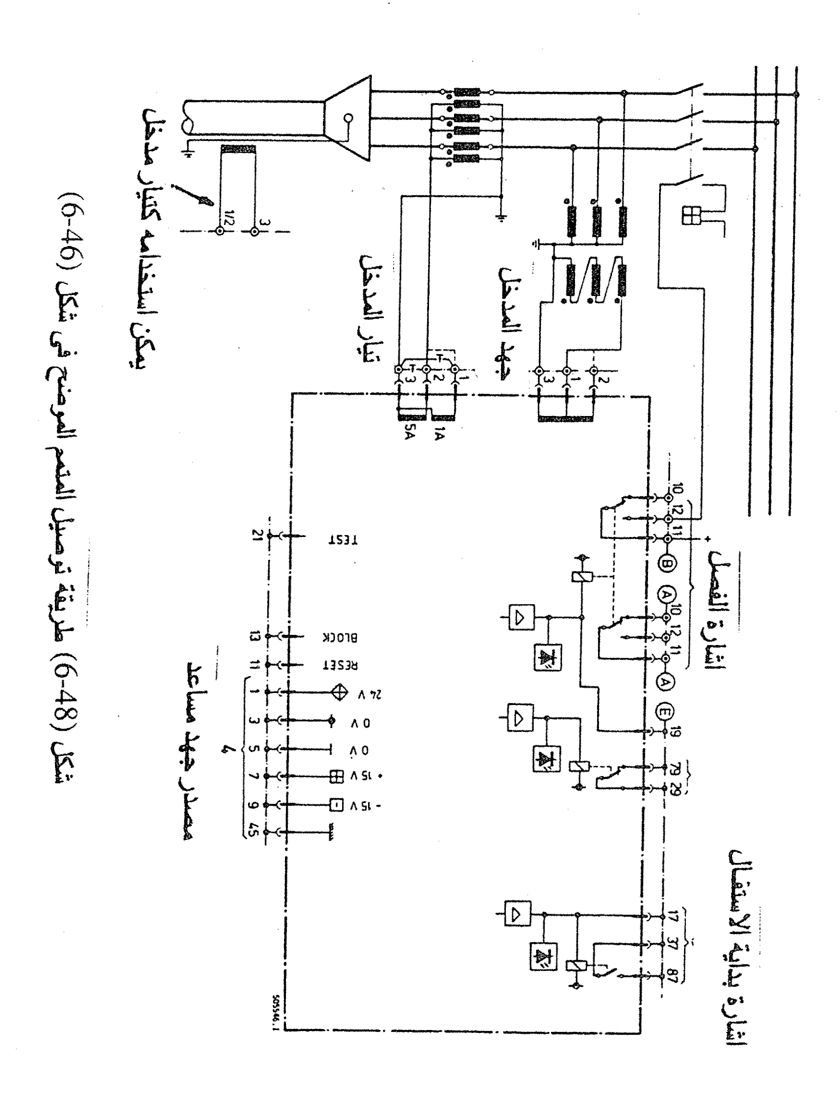
$$P_N = V_N * I_N$$

حيث : V_N الجهد المقنن للمتمم (وهو جهد الدلتا المفتوحة) أو مركبة التتابعية الصفرية للجهد .

I_N التيار المقنن للمتمم (وهو مجموع التيارات بالأوجه) أو مركبة التتابعية الصفرية للتيار .

وتكون حدود ضبط المؤقت من *0.01* إلى *0.9* ثانية .

ويوضح شكل *(6-48)* طريقة توصيل المتمم من خلال محولات التيار ومحولات الجهد المركبة على الخط . ويلاحظ أنه يلزم توصيل مصدر جهد مساعد *(D.C)* للمتمم.



شكل (6-48) طريقة توصيل المتمم الموضح فى شكل (6-46)
يمكن استخدامه كتيار مدخل

الباب السابع
الوقاية التفاضلية

DIFFERENTIAL PROTECTION

يمكن تمثيل متمم الوقاية التفاضلية بأنه مقارن ، حيث أنه يقارن مباشرة قيمة وإتجاه التيارات الداخلة والخارجة من المعدة أو المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية *(Protected zone)* ، والتى تحدد بالمنطقة بين محولات التيار على جانبى المعدة ويمكن أن تكون المعدة محول قدرة أو خط أو وحدة محول / مولد .....

تصنف المتممات التفاضلية إلى :

1) متمم التيار الدائرى *Circuilating current relay*
(أو متمم عدم الحياز *Unbiased relay*)
2) متمم الجهد المتزن *Balanced voltage relay*
3) متمم الحياز التفاضلى *Biased differential relay*
(أو متمم النسبة التفاضلى *Percentage differential relay*)
4) المتمم التفاضلى ذى السرعة العالية المزود بكابح توافقيات
High speed differential relay with harmonic restraint feature
5) المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية *High impedance type differential relay*

وفيما يلى توضح لكل نوع :

1) المتمم التفاضلى ذى التيار الدائرى

Circuilating current differential relay

ويطلق عليه أيضاً متمم عدم الحياز أو متمم ميرز برايس *(Merz-Price)* ويوضح شكل *(7-1)* شرحاً تخطيطياً لنظام عمل هذا النوع ، حيث يتم توصيل ملف التيار للمتمم على التوازى مع الملفين الثانويين لمحولى التيار للمنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، ويتم التوصيل بين الملف الثانوى لمحولى التيار وبين المتمم عن طريق إستخدام أسلاك الدليل *(Pilot wires)* ويوصل المتمم فى منتصف السلك ، بحيث

تكون المقاومة على جانبى المتمم متساوية . وعند حدوث أعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن التيارين I_1 , I_2 للملفين الثانويين لمحولى التيار ، يمران فى الملف فى نفس الإتجاه ويكونان متساويا القيمة وبذلك فإن التيار المار بملف المتمم يخضع للعلاقة الآتية :

$$I_1 - I_2 = 0$$

أى لا يمر تيار بملف المتمم ، ولكن فى الحقيقة يمر بملف المتمم تيار المغنطة *(Magnetizing current)* (نتيجة الفيض المغناطيسى المتسرب *Leakage flux* بالمحول) . والذى يكون صغيراً جداً وأقل من قيمة إشتغال المتمم .

وتماثل هذه الحالة حالة التشغيل العادى للمعدة الكهربائية ، التى يكون فيها أيضاً محصلة التيار المار بملف المتمم مساوياً للصفر ، وبالرجوع إلى شكل *(7-1)*أ نجد أن التيارين I_1 , I_2 متساويان ويمران فى نفس الإتجاه ويصبحا تيار دائرى بسلك الدليل ، ومن هنا جاءت تسمية هذا النوع بأنه متمم التيار الدائرى . أما عند حدوث عطل داخل منطقة مجال الوقاية ، فإن التيار المار بملف المتمم يخضع للمعادلة الآتية :

$$I_1 + I_2 \neq 0$$

أى يمد الملف بتيار تشغيله ، فتقفل نقط التلامس الخاصة به والتى تعمل على فصل قاطعى التيار على جانبى منطقة مجال الوقاية ، كما هو واضح فى شكل *(7-1)*ب .

فى المتممات الكهرومغناطيسية ، يتسبب مرور التياران I_1 , I_2 فى حدوث عزمى إجهاد كهرومغناطيسى على الحافظة المثبت عليها نقط التلامس ، وفى حالة الأعطال خارج منطقة مجال الوقاية يكون العزمان فى إتجاهين متضادين فيتلاشان ، بينما فى حالة الأعطال داخل منطقة مجال الوقاية فيكونا فى نفس الإتجاه فتحدث محصلة عزم موجب تعمل على قفل نقط التلامس والتى بدورها تؤدى الى فصل قاطعى التيار لمنطقة مجال الوقاية .

ومن عيوب هذا النوع أنه غير مستقر ، حيث أنه يمكن أن يعمل فى حالات عدم إتزان التيارات الناتجة من إختلاف خصائص محولات التيار (مثل الخطأ فى نسبة التحويل *Ratio error* والخطأ فى زاوية الإزاحة *Phase angle error*) سواء فى

الحالات العادية أو الفجائية . وفى هذه الحالة تكون قيمة ضبط التيار ، على المتمم ، عاليه .

ويفضل ، فى هذا النوع ، إضافة مقاومات إستقرار *(Stabilizing resistors)* فى دائرة المتمم ومقاومات إتزان *(Balancing resistors)* فى الدوائر الثانوية لمحولات التيار .

وتستخدم مقاومات الإستقرار أساساً للحصول على إستقرار للمتمم عند حدوث أعطال خارج منطقة مجال الوقاية ، وبفرض أن أحد محولى التيار كان فى حالة تشبع بالكامل فإن تيار المتمم يعطى من المعادلة :

$$I_{relay} = I_{thro\,fault} * \left(\frac{R_B}{R_Y} \right)$$

حيث : $I_{thro\,fault}$: التيار المار عند حدوث عطل خارج منطقة مجال الوقاية .

R_B : مقاومة محول التيار المشبع بالإضافة إلى مقاومة الأسلاك حتى المتمم .

R_Y : مقاومة الإستقرار

ومن المعادلة السابقة ، إذا أمكن زيادة قيمة المقاومة R_Y بقيمة مناسبة فإنه يمكن تقليل قيمة التيار المار بالمتمم I_{relay} .

تضاف مقاومات الإتزان فى مسار الملف الثانوى لمحولات التيار بحيث يتم توصيل المتمم عند الوضع الذى يعطى هبوط فى الجهد متساوى على جانبى المتمم ، بمعنى آخر يكون موضع المتمم فى مركز الثقل الكهربى بين محولى التيار .

ومن عيوب هذا النوع :

1) إختلاف أطوال أسلاك الدليل :

غالباً ما يكون مكان المعدة الكهربائية ، المطلوب تركيب وقاية تفاضلية لها ، مختلفاً عن مكان محولات التيار اللازمة للوقاية التفاضلية ، وبالتالى لا يمكن أن يتحقق وضع متمم الوقاية التفاضلية فى مواضع تساوى الجهد ، وللتغلب على ذلك يتم توصيل مقاومات الإتزان على التوالى مع سلك الدليل ، أى فى مسار الملف

الثانوى لمحولات التيار ويتم ضبط قيمة المقاومة على الجانبين للحصول على موضعى تساوى الجهود .

2) الخطأ فى نسبة تحويل محولات التيار خلال الأعطال :

غالباً ، تتساوى نسب التحويل لمحولات التيار خلال الحالة العادية ، ولكن فى حالات القصر فإن التيار المار فى محولات التيار ، فى كل من الجانبين ، يكون كبيراً جداً ، مما يؤدى إلى حدوث خطأ فى نسبة تحويل التيار للجانبين ،والذى يكون مرجعه للعوامل الآتية :

أ) إختلاف خصائص محولات التيار نتيجة إختلاف الدائرة المغناطيسية وحالات التشبع و ....

ب) عدم تساوى مركبات التيار المستمر *D.C* بتيارات القصر .

3) تشبع القلب المغناطيسى لمحولات التيار خلال حالات القصر :

ونتيجة ذلك يمكن أن يعمل المتمم فى حالة الأعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية وبالتالى فى بعض الأحيان يفقد المتمم خاصية الإنتقائية عند حدوث الأعطال .

وللتغلب على ذلك يفضل إستخدام متمم الحياز التفاضلى *(Biased differential relay)* أو متمم النسبة التفاضلى *(Percentage differential relay)* . وهو أساساً عبارة عن متمم التيار الدائرى مضافاً إليه ملف كبح *(Restraining coil)* . ويتناسب التيار المار فى ملف الكبح مع $I_1 + I_2 / 2$ وهو الذى يقاوم الإشتغال الخاطئ عند حدوث أعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، لأنه عند زيادة التيار فإن عزم الكبح *(Restraining torque)* يزيد ، بينما العزم الناتج فى ملف التشغيل نتيجة مرور التيار $I_1 - I_2$ يكون غير كافى لتشغيل المتمم . كما سيتضح فيما بعد .

4) تيارات المغنطة الإندفاعية المارة بالمحولات عند عمليات التوصيل :

عند توصيل المحول على الشبكة الكهربائية تمر تيارات إندفاعية يمكن أن تصل الى عشرة أمثال التيار العادى للمحول ، يؤدى هذا التيار إلى إشتغال متمم الوقاية التفاضلى على الرغم من عدم وجود أعطال فى المحول . وللتغلب على ذلك يضاف

كابح التوافقيات *(Hormonic restraint)* للمتمم التفاضلى،يكون عبارة عن مرشحات *(Filters)* لإمتصاص مركبات التوافقيات الموجودة بالتيارات الإندفاعية ، ثم يمر التيار بعد ذلك على ملف الكبح ، كما يحتوى تيار المغنطة على مركبات مختلفة للتوافقيات، تستخدم كعزم كبح خلال عمليات التوصيل للمحولات .

5) نقط التقسيم للمحول :

لا شك أن تغيير نقط التقسيم للمحول تؤدى إلى تغيير نسبة التحويل ، وبالتالى فإن نسبة محولات التيار لا تلائم الضبط الجديد لنقط التقسيم للمحول ، يؤثر ذلك على قيمة التيار المار بسلك الدليل خلال عمليات التشغيل العادية وعلى ذلك يجب الإنتباه لذلك عند إستخدام متمم الحياز التفاضلى .

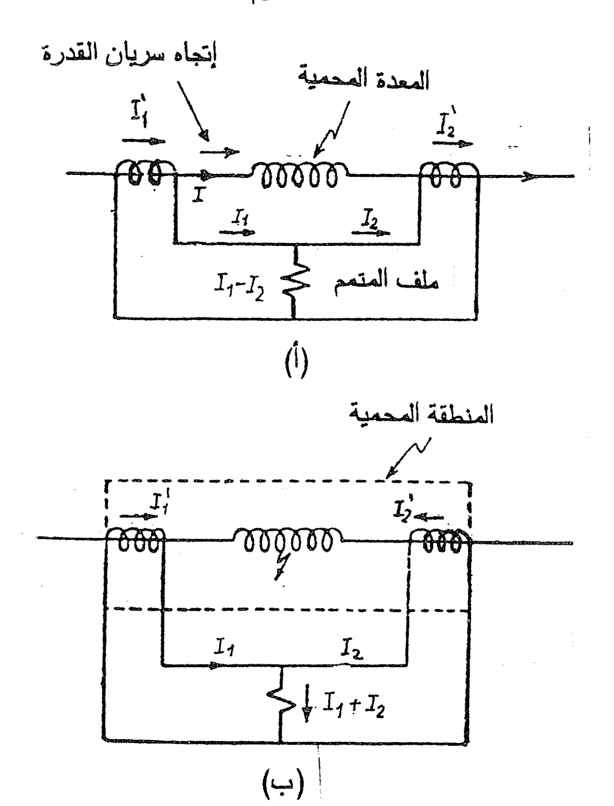
توزيع الجهود لدائرة متمم التيار الدائرى التفاضلى :

نتيجة مرور التيار بمحولى التيار للدائرة ، فإنه تتولد قوة دافعة كهربية *emf* على الملفات الثانوية لمحولات التيار ، والموضحة فى شكل *(7-2)*ب بالخطين *ab , cd* ، كذلك توضح هبوط الجهد الحادث على سلك الدليل *ad , bc* والموضحين بشكل *(7-2)*أ ويوجد عدد لا نهائى من النقط المتماثلة لها نفس فرق الجهد على سلكى الدليل مثل *YY , XX* ويكون عبء *(Burden)* محولات التيار مقسماً بالتساوى ، حتى أنه لا توجد علاقة بين سلكى الدليل إلا عند النقط ذات الجهود المتساوية مثل ... *XX , YY*

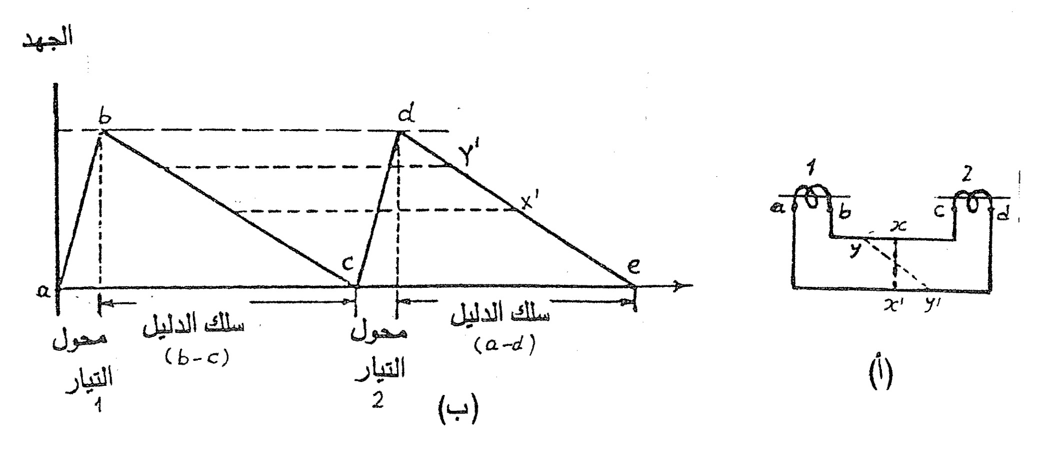
ومن الناحية العملية يوصل المتمم فى دائرة سلك الدليل بين محولى التيار ، وإذا لم يكن عند نقط تساوي الجهود فإن القدرة *(VA)* المأخوذة من محولات التيار لا تتساوى على الرغم من أن محولى التيار على الجانبين متماثلين . وقد يكون ذلك سبباً فى وصول محولات التيار لحالة التشبع عند حدوث الأعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ونتيجة إختلاف خصائص الجهد وزاوية الإختلاف لمحولات التيار يحدث عدم إتزان للتيار يسبب تشغيل خاطئ للمتممات ، ويعالج ذلك إما إستخدام ملف حياز بالمتمم أو إستخدام متمم ذى معاوقة عالية .

2) متمم الجهد المتزن التفاضلى *Voltage Balance Differential Relay*

تتلخص فكرة هذا النظام فى توصيل متمم وقاية ضد زيادة التيار على التوالى مع محولى التيار ، كما فى شكل *(7-3)*أ وعندما يكون التياران الماران بمحولى التيار



شكل (1-7) المتمم التفاضلى ذو التيار الدائرى



شكل (2-7) توزيع الجهود لدائرة متمم التيار الدائرى التفاضلى

متساويين ، فإنه لا يمر أى تيار بالمتمم بسبب أن الهبوط فى الجهد بين طرفى المتمم يساوى صفر . بينما عند حدوث قصر فى المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإنه يحدث فرق فى الجهد بين طرفى الملف مما يسبب إشتغاله .

كذلك يمكن توصيل جهازى وقاية ضد زيادة التيار ، كما فى شكل *(7-3)*ب . ويلاحظ أن التيار الثانوى لمحولات التيار ، على الجانبين ، يكونا متعاكسان وجهدهما متزن لكل متمم ، وهذا يمثل عطلاً خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية أو يمثل حالة التشغيل العادى .

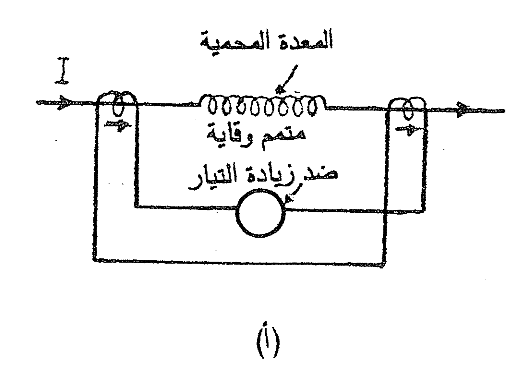
ويوضح شكل *(7-3)*ج توزيع التيارات فى حالة عطل داخل المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، حيث يمر بكل متمم تيار يساوى $I_1 + I_2 / 2$ ، يسبب إشتغال متمم الوقاية .

وعادة تكون محولات التيار المستخدمة من نوع القلب ذى الثغرة الهوائية *(Air gap core)* ، حتى لا يحدث تشبع للقلب ، كذلك لا يحدث زيادة فى الجهد عند حالات التشغيل العادية ، وخلال مرور تيار ثانوى صغير جداً (يساوى صفر تقريباً) .

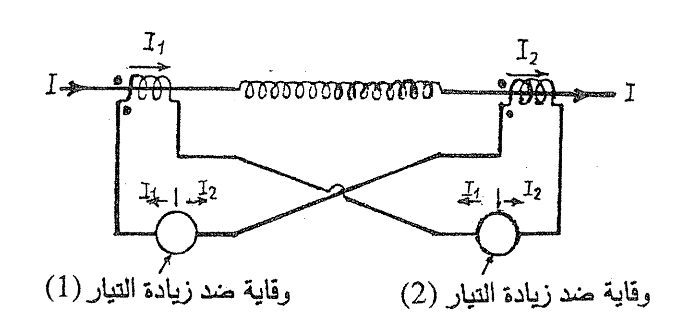
3) **متمم الحياز التفاضلى** *Biased Differential Relay*

أو متمم النسبة التفاضلى *Percentage differential relay*

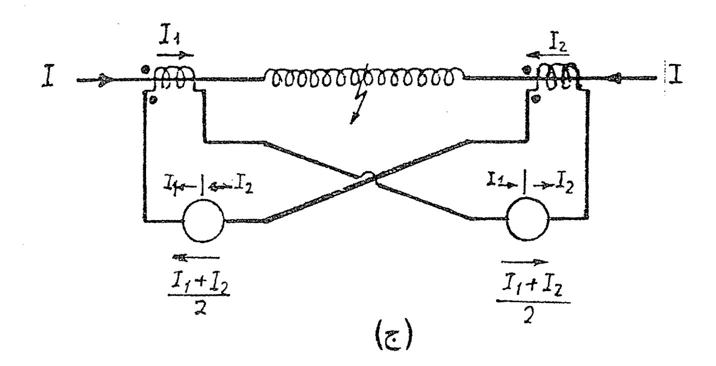
كما ذكرنا سابقاً ، فإن الغرض من عمل تعديل على متمم التيار الدائرى التفاضلى هو التغلب على الإشتغال الخاطئ للمتمم فى حالة الأعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، نتيجة إختلاف نسبة التحويل لمحولات التيار عند مرورالتيارات الكبيرة . وفى متمم الحياز التفاضلى تم إضافة ملف كبح *(Restraining coil)* يتصل على التوالى مع سلك الدليل كما فى شكل *(7-4)* . وعلى ذلك يتكون المتمم من ملف التشغيل *(Operating coil)* متصل فى منتصف ملف الكبح ويكون العدد الكلى للأمبير لفات *(Ampere turns)* لملف الكبح يساوى مجموع الأمبير لفات لكل من النصفين ، أى أن $[(I_1 N_r / 2) + (I_2 N_r / 2)]$ تعطى متوسط تيار الكبح $[(I_1 + I_2) / 2]$ فى عدد اللفات N_r . وعند حدوث عطل خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن التيارين I_1 , I_2 يزدادان وبالتالى يزيد عزم الكبح والذى يقاوم الإشتغال الخاطئ للمتمم .



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (3-7) دائرة المتمم التفاضلى للجهد المتزن

3 (أ) متمم الحياز التفاضلى الكهرومغناطيسى :

يبين شكل *(5-7)* فكرة نوعين من متمم الحياز التفاضلى الكهرومغناطيسى ، حيث تعتمد فكرة تشغيل كل منهما على تغلب عزم التشغيل على عزم الكبح فى حالة الأعطال داخل المنطقة المحمية ، بينما فى حالة التشغيل العادى وحالة الأعطال الخارجية يكون عزم الكبح أكبر ، أى من الشكلين السابقين يمكن تمثيله كما فى شكل *(6-7)* وفيما يلى إستنباط معادلة تشغيل متمم الحياز التفاضلى الكهرومغناطيسى :

تيارالتشغيل $= I_P = I_1 - I_2$

تيارالكبح $= I_r = I_1 + I_2$

وتكون معادلة التشغيل هى :

عزم التشغيل ≤ (عزم الكبح + عزم تحكم الزنبرك)

أى أن :

$$K_P (N_P I_P)^2 \geq K_r (N_r I_r)^2 + K$$

حيث : K_r , K_P : ثوابت التصميم

N_r : عدد لفات ملف الكبح .

N_P : عدد لفات ملف التشغيل .

K : ثابت عزم زنبرك التحكم .

عند بداية التشغيل تتحقق المعادلة التالية :

$$K = K_P (I_{Pmin} N_P)^2$$

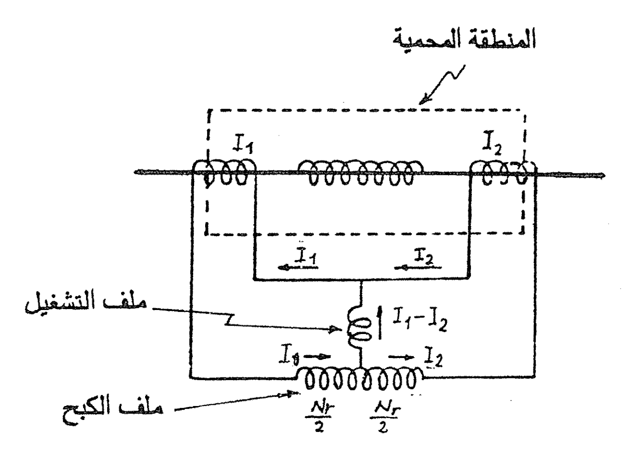
حيث I_{Pmin} : أقل تيار تشغيل للمتمم .

$$\therefore K_P (N_P I_P)^2 = K_r (N_r I_r)^2 + K_P (N_P I_{Pmin})^2$$

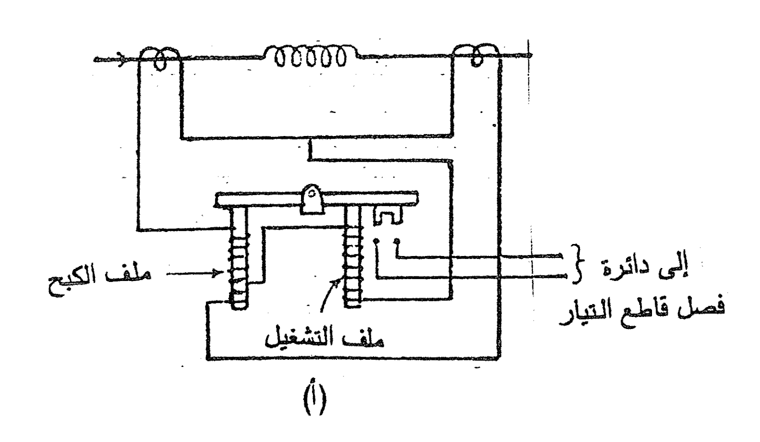
$$\therefore I^2_P = K^2_R I^2_r + I^2_{P\,min}$$

حيث :

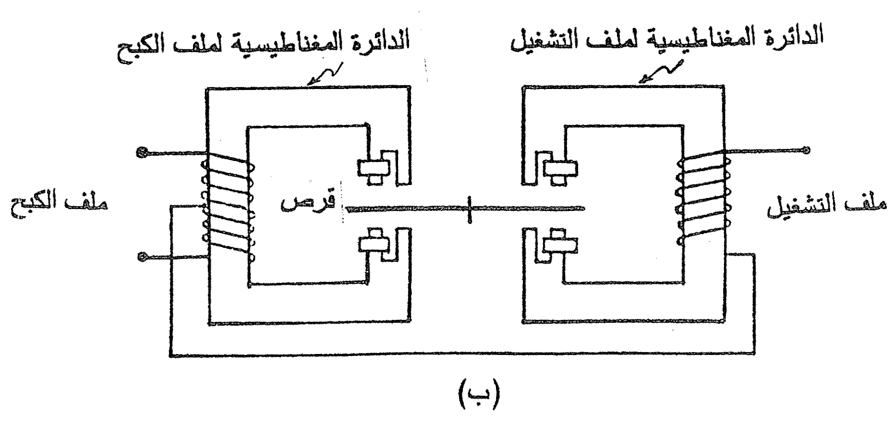
عامل الكبح $= K_R = \sqrt{\left(\frac{K_r}{K_P}\right)\left(\frac{N_r}{N_P}\right)^2}$



شكل (7-4) متمم الحياز التفاضلى



(أ)



(ب)

شكل (7-5) متمم الحياز التفاضلى الكهرومغناطيسى

تمثل المعادلة السابقة معادلة القطع الزائد *Hyperbola* ، كما فى شكل *(7-7)* والتى يمكن وضعها على الصورة الآتية :

$$\frac{I^2_P}{I^2_{Pmin}} - \frac{I^2_r}{\left(\frac{I_{Pmin}}{K_R}\right)^2} = 1$$

ويبين شكل *(8-7)* خاصية المتمم ، أى العلاقة بين I_P , I_r ، ويعرف ميل الخط بعامل ضبط النسبة *(Percentage setting factor)* أو عامل الكبح *(Restraining factor)* ويتحقق من المعادلة الآتية :

$$\tan\ \alpha = K_R = \frac{I_{P\,min}}{\left(\frac{I_{Pmin}}{K_R}\right)} = \frac{N_r}{N_P}\ \sqrt{\frac{K_r}{K_P}}$$

ضبط متمم الحياز التفاضلى :

ينقسم ضبط متمم الحياز التفاضلى إلى :

* ضبط ملف التشغيل (الضبط الأساسى) :

وتعرف نسبة الضبط لدائرة ملف التشغيل (أى الضبط الأساسى) من العلاقة الآتية (عندما يكون تيار الكبح يساوى صفراً)

$$\text{الضبط الأساسى \%} = \frac{\text{أقل قيمة تيار بملف التشغيل تؤدى إلى تشغيله}}{\text{التيار المقنن لملف التشغيل}} \times 100$$

* ضبط ملف الكبح (قيمة اللقط)

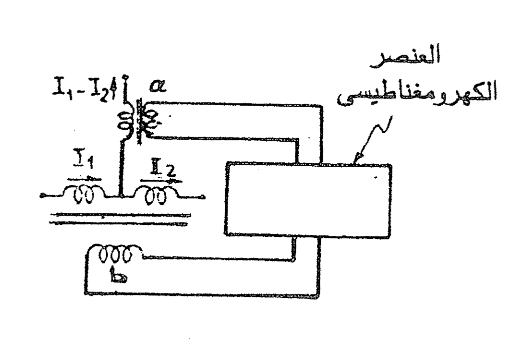
ويعرف من النسبة الآتية :

$$= \frac{\text{التيار بملف التشغيل الذى يؤدى إلى تشغيله}}{\text{التيار فى ملف الكبح}} \times 100$$

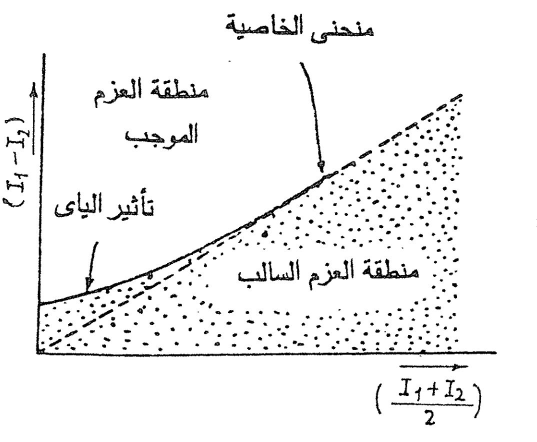
وتكون نسبة قيمة اللقط :

$$\text{قيمة اللقط \%} = \frac{I_1 - I_2}{(I_1 + I_2)/2} * 100$$

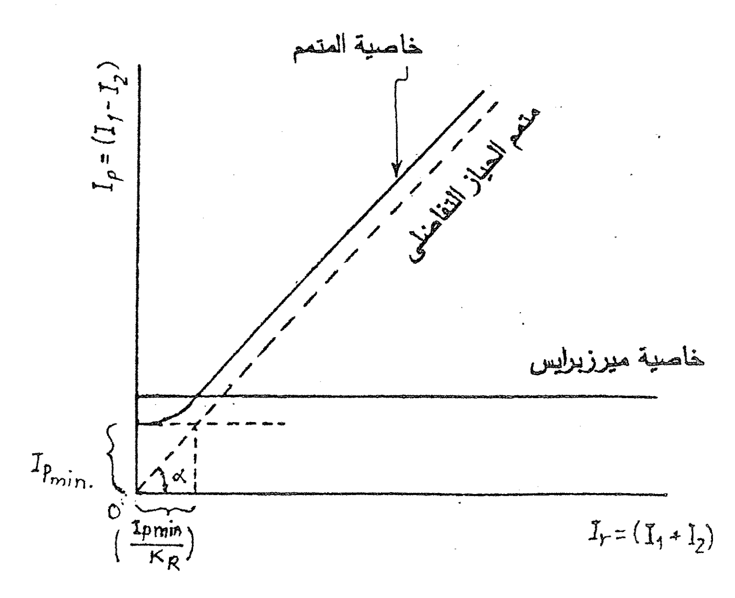
ولإيجاد قيم ضبط المتمم يجب أخذ العوامل الآتية فى الإعتبار :



شكل (7-6) تمثيل المتمم الموضح بشكل (7-5)



شكل (7-7) خاصية القطع الزائد



شكل (7-8) خاصية المتمم الموضح فى شكل (7-5)

* نسبة الخطأ فى محولات التيار .
* وضع مغير الجهد *(Tap)* .
* مقاومة أسلاك الدليل .
* الإستقرار خلال الأعطال الخارجية .

فى حالة تركيب متمم الحياز التفاضلى على محول قدرة ، فإن نسبة الضبط الأساسى تكون *20%* بينما تكون قيمة نسبة اللقط *25%* ويوضح شكل *(7-9)* طريقة توصيل متمم الحياز التفاضلى ـ ثلاثى الأوجه ـ على مولد .

3 (ب) متممات الوقاية التفاضلية الاستاتيكية :

يعتبر مقارن القيمة *(Amplitude comparator)* من المكونات الرئيسية لمتمم الوقاية التفاضلى الاستاتيكى حيث يتم مقارنة قيمتى تيار التشغيل وتيار الكبح والممثلان بالرمزين *a , b* بشكل *(7-10)*أ بمقارن قيمة ثم يتم تكبير المخرج ومنه إلى عنصر المخرج ، كما فى شكل *(7-10)*ب . ويكون مقارن القيمة عبارة عن قنطرتى توحيد مدخلهما *a , b* ومخرجهما يغذى مرشح ودائرة تكامل *(Integrator)* وكاشف مستوى *(Level detector)* ومنه إلى عنصر المخرج ، وهذه العناصر هى المكونات الأساسية لمتمم الوقاية التفاضلى الاستاتيكى ـ أحادى الوجه ـ كما فى شكل *(7-11)* .

كما يوجد النوعان التاليان لمتمم الوقاية التفاضلى ثلاثى الأوجه :

أ) بإستخدام مقارنة الجهد *Voltage comparison* :

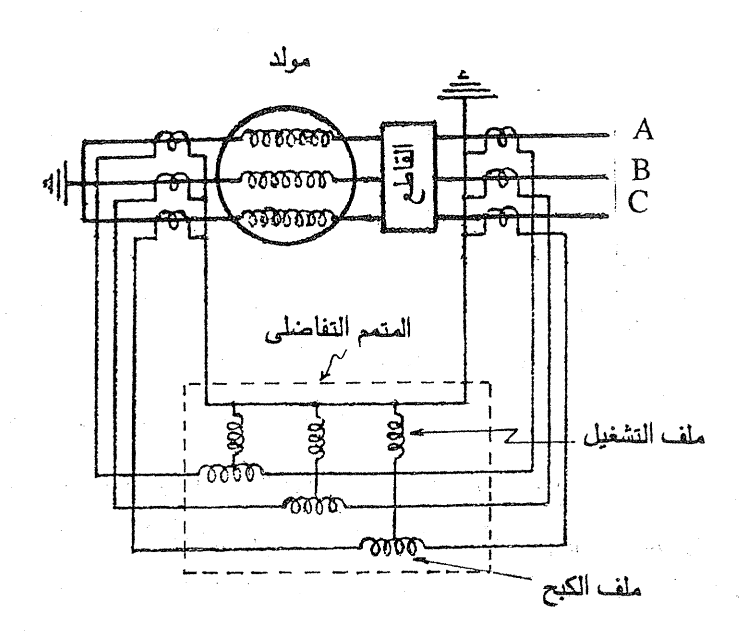
كما هو موضح فى شكل *(7-12)* حيث تستخدم ثلاثة قناطر توحيد تتغذى بالتيار I_1-I_2 للثلاثة أوجه أى تتغذى بتيارات التشغيل بينما تستخدم ثلاثة قناطر توحيد أخرى للتغذية بتيارات الكبح .

ب) بإستخدام مقارنة التيار *Current comparison* :

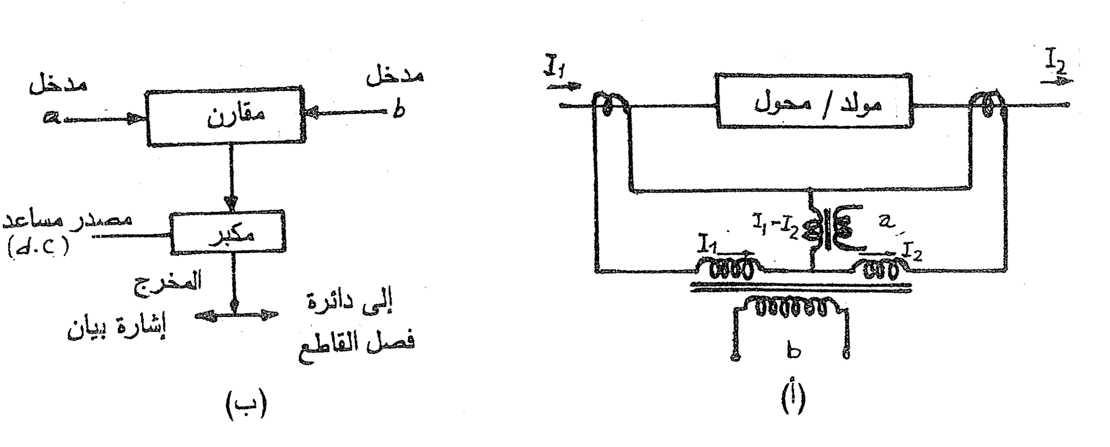
تستخدم قنطرتان تتغذى بتيارات التشغيل للثلاثة أوجه ، وقنطرتين تتغذى بتيارات الكبح كما فى شكل *(7-13)* .

ويلاحظ الآتى فى كلتا الحالتين :

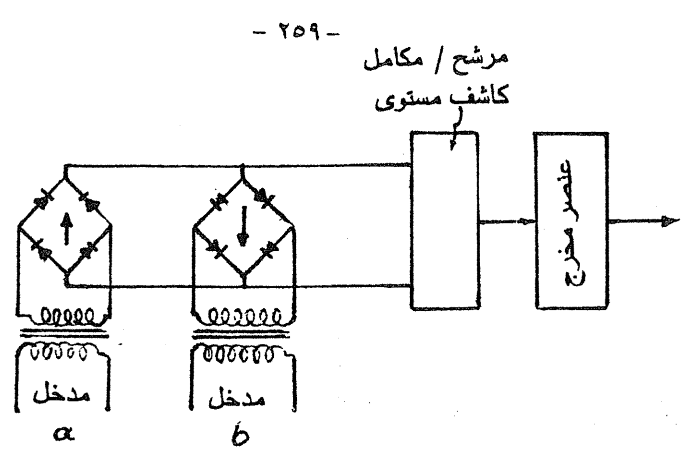
* استخدم الزنير ديود *(ZD)* للحد من قيمة جهد المخرج من محولات التيار المختلفة.



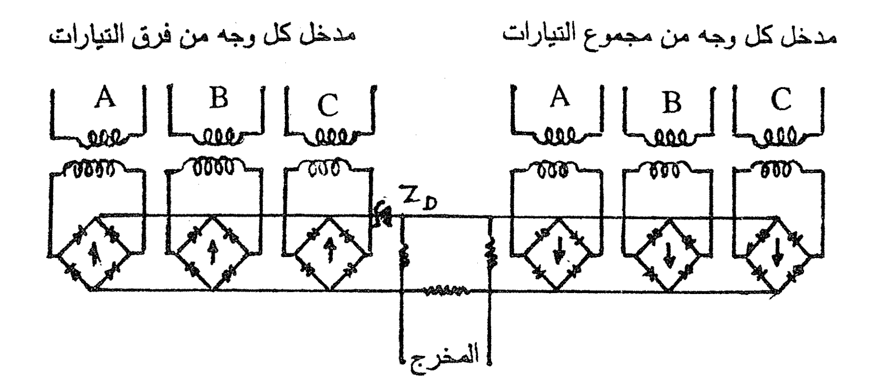
شكل (7-9) متمم الحياز التفاضلى لوقاية المولد



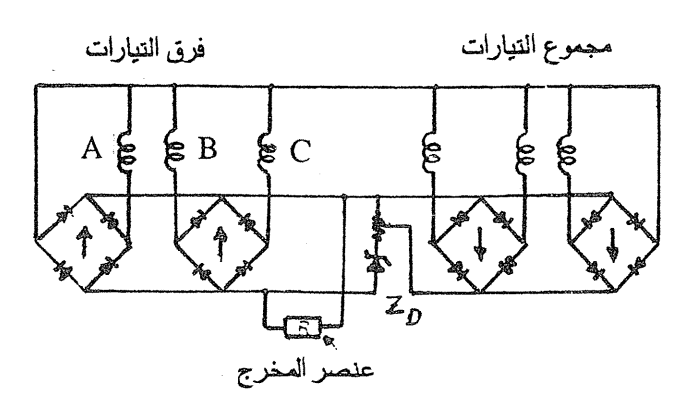
شكل (7-10) مقارن القيمة



شكل (7-11) مكونات متمم الوقاية التفاضلى الاستاتيكى



شكل (7-12) مقارن الجهد



شكل (7-13) مقارن التيار

* نحصل على أقصى مخرج من دوائر التشغيل والكبح للثلاثة أوجه ، أى نحصل على إشارة فصل آلياً عند حدوث عطل وجه (أو أوجه) بينما نحصل على مخرج من دائرة الكبح عند حدوث عطل خارجى ، أو عند مرور تيار فى الأوجه الغير عاطلة .

أ) متمم الحياز التفاضلى الاستاتيكى :

بإعتبار المكونات الأساسية لوجه واحد ، كما فى شكل *(7-14)* فإنه يمكن إستنتاج معادلة التشغيل كالآتى :

$$K_P (N_P I_P) = K_r (N_r I_r) + K$$

حيث : K_r , K_P , K : ثوابت المتمم .

N_r : عدد لفات ملف الكبح .

N_P : عدد لفات ملف التشغيل .

عند بداية التشغيل تتحقق المعادلة التالية :

$$K = K_P (I_{Pmin} N_P)$$

$$K_P N_P I_P - K_r N_r I_r = K_P I_{Pmin} N_P$$

$$I_P = K_R \ I_r + I_{Pmin}$$

حيث :

$$K_R = (\frac{K_r}{K_P} \ \frac{N_r}{N_P})$$

وهى تمثل معادلة خط مستقيم على شكل :

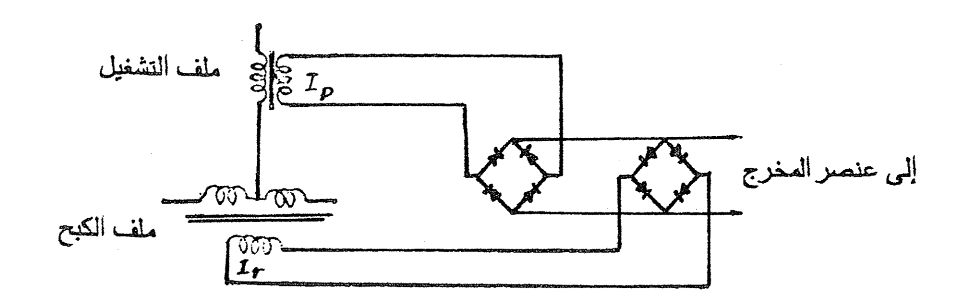
$$y = mx + c$$

ونحصل على ميل الخط من المعادلة الآتية :

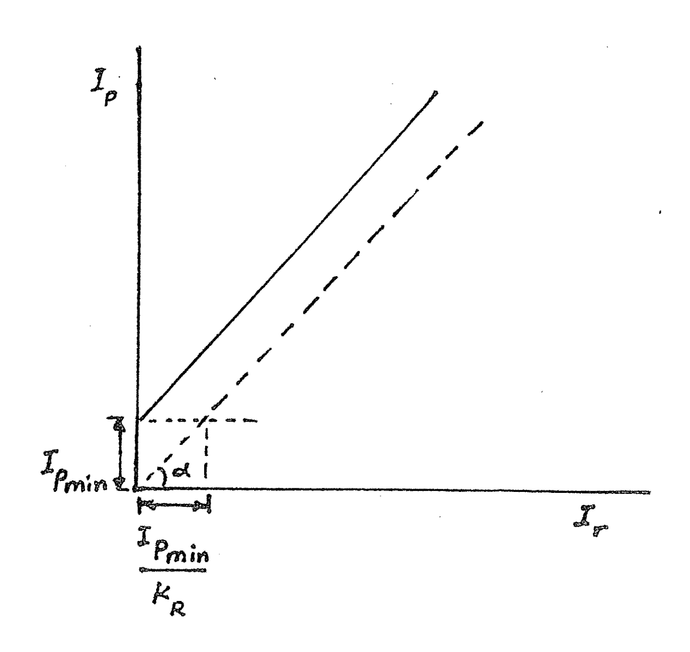
$tan \ \alpha = K_R =$ عامل الكبح

$$= (\frac{K_r}{K_P} \ \frac{N_r}{N_P})$$

ويوضح الشكل (7-15) خاصية المتمم .



شكل (7-14) متمم الحياز التفاضلى الاستاتيكى



شكل (7-15) خاصية متمم الحياز التفاضلى الاستاتيكى

ب) متمم الحياز المزدوج التفاضلى *Duo-Bias Differential Relay* :

يستخدم هذا النوع عادة لوقاية محولات القدرة ، ومن خصائصه :

* أنه يعمل كحياز نسبى حيث يزيد الضبط الفعلى للمتمم كنسبة من قيمة تيار القصر الخارجى .
* أنه يعمل كحياز للحالات العابرة *(Transient)* لضمان التشغيل العادى عند حدوث الفجائيات الناتجة من التمغنط *(Megnetizing surges)* وذلك بإستخدام مركبة التوافقية الثانية .

ويعتمد تكوين المتمم على إستخدام المكبرات المغناطيسية *(Magnetic amplifier or transductors)* . ويمتاز هذا النوع بالآتى :

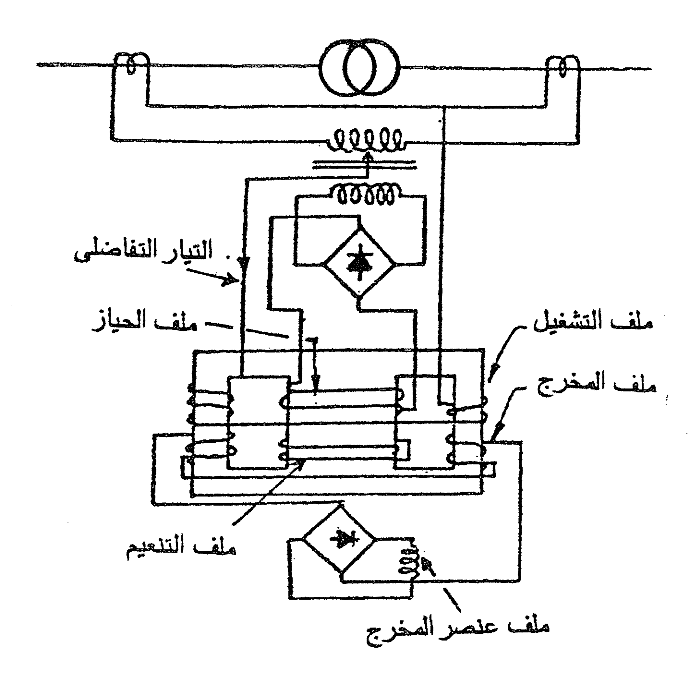
* يعمل كحياز للموجات العابرة .
* يعمل كحياز نسبة عادى .
* يعتبر معدة استاتيكية .
* يتغذى عنصر المخرج بدائرة *D.C* من مخرج المكبر ولذلك تكون نقط التلامس قوية من الناحية الميكانيكية ولا تحتاج لأى صيانة .

ويوضح شكل *(7-16)*أ،ب مكونات أحد أوجه المتمم ، والتى تتكون من مكبر مغناطيسى ملفوف عليه الملفات اللآتية :

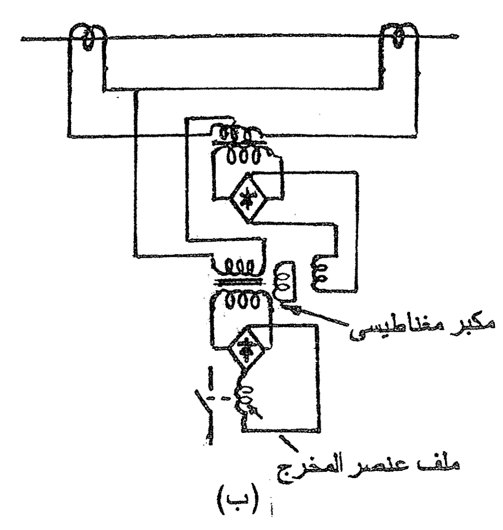
* ملف التشغيل *(Operating coil)*
* ملف الحياز *(Bias coil)* والذى يتغذى بالتيار الدائرى المار بسلك الدليل من خلال المحول المساعد .
* ملف تنعيم *(Smoothing coil)* .
* ملف المخرج *(Output coil)* .

وفيما يلى توضيح لفكرة التشغيل ....

عند حدوث عطل خارجى ، يتغذى ملف الحياز بتيار موجة كاملة موحدة بقيمة تعتمد على تيار القصر وما يحدثه من تشبع مرتفع بالقلب المغناطيسى . ومن خلال ملف التنعيم تخمد أية نبضات فى موجة القوة الدافعة المغناطيسية *(mmf)* ، ناتجة من النبضات فى تيار الحياز . وعند حدوث عدم إتزان للتيار المار بملف التشغيل ،



(أ)



(ب)

شكل (16-7) متمم الحياز المزدوج التفاضلى

تضاف مركبة القوة الدافعة المغناطيسية المترددة *A.C* إلى مركبة القوة الدافعة المغناطيسية الناتجة من تيار الحياز ، كما هو واضح فى شكل *(7-17)*أ وتحدث القوة الدافعة المغناطيسية النهائية تغيير نسبى صغير فى الفيض بالقلب ، وبالتالى فإن المخرج النهائى لملف عنصر المخرج يكون صغيراً جداً وإذا كان تيار عدم الإتزان أقل من نسبة معينة من التيار الدائرى أو تيار الحياز .

وعند حدوث عطل داخلى ، يتغذى من محول تيار واحد فقط ، فإن نصف ملف الحياز فقط هو الذى يمد بالتيار ، بينما يمد ملف التشغيل بتيار العطل الداخلى الكامل الثانوى ، وبالتالى تكون القوة الدافعة المغناطيسية بملف التشغيل أكبر كثيراً من القوة الدافعة المغناطيسية الناتجة من ملف الحياز محدثاً تغيير فى فيض القلب كافياً لتشغيل ملف عنصر المخرج .

وتكون خاصية المتمم كما فى شكل *(7-17)*ب . ومن الناحية العملية ، يحتوى المتمم على قلبين مغناطيسيين منفصلين ولكن مرتبطين عن طريق ملف الحياز وملف التنعيم ، ويكافئ قلب واحد .

4) المتممات التفاضلية ذى السرعة العالية المزود بكابح التوافقيات

High Speed Differential Relays with Harmonic Restraint Feature

حل مشكلات التيار الإندفاعى *Solution of Inrush Current Problems*

تحدث التيارات الإندفاعية فقط فى الجانب من المحول الذى تم توصيله على مصدر الكهرباء أى تظهر التيارات الإندفاعية فى دوائر الوقاية التفاضلية مسببة الفصل الخاطئ لقاطعى التيار نتيجة الإشتغال الخاطئ للمتمم .

وهناك حلول متعددة ، عن طريق إضافة عنصر بمتمم الوقاية التفاضلى ، هى :

* كبح التوافقيات *(Harmonic restraint)*
* إلغاء التوافقيات الزوجية *(Even harmonic cancellation)*
* مانع التوافقيات *(Harmonic blocking)*
* مانع الرنين *(Resonance blocking)*
* حياز التيار المستمر *(D.C. bias)*

وقبل التعرض لهذه الطرق ، نوجز فكرة عن التوافقيات ...

تحدث ظاهرة التيار الإندفاعى الممغنط *(Magnetizing inrush current)* فى الملفات الإبتدائية لمحولات القدرة الكبيرة وذلك عند توصيل مصدر الكهرباء على الجانب الإبتدائى للمحول ، وبما أن هذا التيار يغذى جانب واحد للمحول فيظهر تأثيره على محولات التيار على نفس الجانب ويتسبب هذا فى الإشتغال الخاطئ لمتمم الوقاية التفاضلى إلا بعض أنواع المتممات والتى تكون مجهزة بنوع حياز معين . إتجهت الصناعة حالياً عند تصنيع محولات القدرة الحديثة ، مراعاة إستخدام ألواح صلب مدلفنة على البارد *(Cold-rolled steel)* والتى تمتاز بالصغر النسبى لفقد التخلفية *(Hysteresis loss)* وتكون قيمة التيار الإندفاعى الممغنط حوالى من *12 : 10* مرة من قيمة تيار الحمل الكلى المقنن . وتحدث أقصى قيمة للتيار الإندفاعى عندما تقترب قيمة موجة الجهد من الصفر .

وتعتمد قيمة التيار الإندفاعى وزمنه على العوامل الآتية :

* قدرة المحول .
* النسبة *L/R* للشبكة الكهربائية المغذية للمحول .
* نوع الحديد المستخدم للقلب .
* قيمة الفيض المتبقى *(Residual flux)* وقيمة بداية الإستعادة *(Initial recovery)* لموجة الفيض .

وكلما زادت قيمة محاثة *(Inductance)* المصدر كلما قل التيار الإندفاعى نتيجة إنخفاض جهد الإثارة *(Excitation voltage)* . ويعتمد ثابت الزمن لإنحلال التيار الإندفاعى على القيمة الكلية لمقاومة المصدر وملفات المحول .

وعلى ذلك فإن المحولات القريبة من مصدر التغذية يكون لها تيار إندفاعى كبير بينما نجد المحطات الفرعية والتى تكون بعيدة عن مصدر التغذية أن التيار الإندفاعى لها غير خطير ، لأن القيم الكبيرة لكل من *L , R* تقلل قيمة التيار الإندفاعى .

كما يحتوى التيار الإندفاعى على عدد كبير من التوافقيات والتى تكون نسبة من مركبة التيار الأساسى والموضحة فى جدول *(7-1)* .

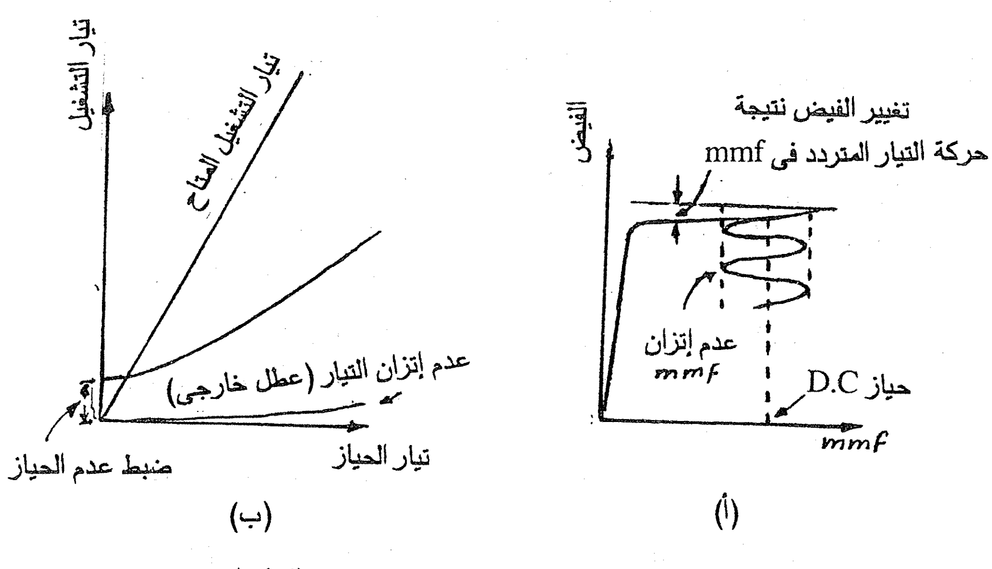
جدول *(7-1)*

المركبة	النسبة المئوية
المركبة الأساسية	*100%*
مركبة التيار المستمر *D.C*	*55%*
مركبة التوافقية الثانية	*63%*
مركبة التوافقية الثالثة	*26.5%*
مركبة التوافقية الرابعة	*5.10%*
مركبة التوافقية الخامسة	*4.10%*
مركبة التوافقية السادسة	*3.70%*
مركبة التوافقية السابعة	*2.40%*

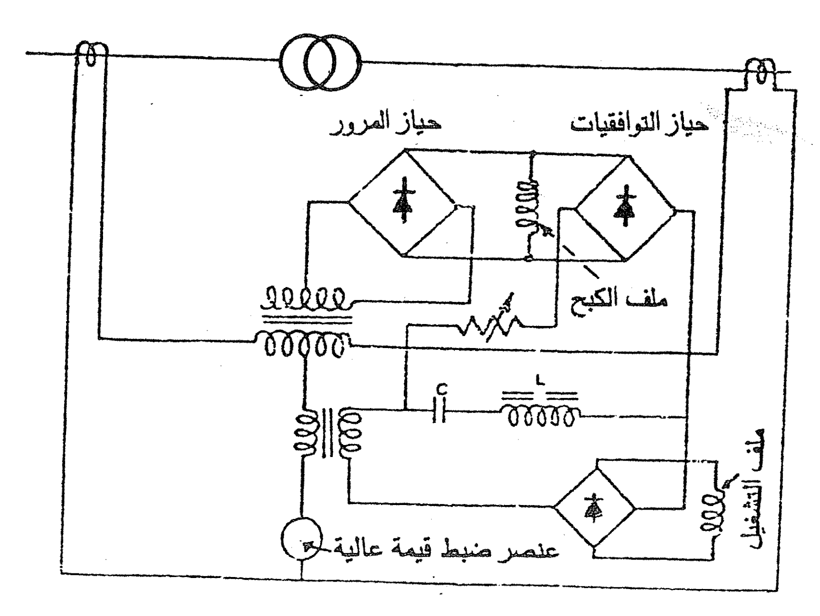
لا تظهرالتوافقية الثالثة ولا مضاعفاتها على دوائر الوقاية التفاضلية ، لأنها تدور داخل توصيلة الدلتا لملفات محول القدرة وكذلك فى توصيلة الدلتا لمحولات التيار الموجودة على جانب التوصيلة نجمة لمحول القدرة . وعلى ذلك لا تعتبر مركبة التوافقية الثالثة ككمية تحتاج للتخلص منها فى متمم الوقاية التفاضلى .

وتعتبر التوافقية الثانية للتيار كمية ثابتة فى الثلاثة أوجه لجميع حالات التشغيل المحتملة ، ويلاحظ أن تيار القصر العادى لا يحتوى على مركبة التوافقية الثانية أو أى توافقية زوجية (الرابعة ـ السادسة ....) كذلك لا يسبب مرور تيارات مشوهة فى ملفات القلب الحديدى المشبع . ويحتوى التيار الخارج من محولات التيار نتيجة تشبع حالة الإستقرار على المركبات الأحادية ولا يحتوى على مركبات زوجية للتوافقيات وعلى ذلك يحتاج لكبح مركبة التوافقية الثانية للتيار .

ويوضح شكل *(7-18)* الدائرة الأساسية لمتمم كبح مركبة التوافقية الثانية بالتيار التفاضلى . حيث يتم توحيد وجمع التيارات ثم تسليطهم على عنصر حياز نسبى *(Percentage bias)* . تسمح دائرة التوليف *(Tuned circuit)* والمكونة من *C , L* بمرور مركبة التردد الأساسي للتيار التفاضلى الى ملف التشغيل . بينما تمر مركبات التوافقيات والتيار المستمر *(D.C)* إلى ملف كبح التوافقيات . في الحقيقة ، عند حدوث تشبع لمحولات التيار نتيجة مرور تيارات العطل الداخلى ، فإنه يحتوى على مركبات



شكل (17-7) خصائص متمم الحياز المزدوج التفاضلى



شكل (18-7) متمم كبح التوافقية الثانية

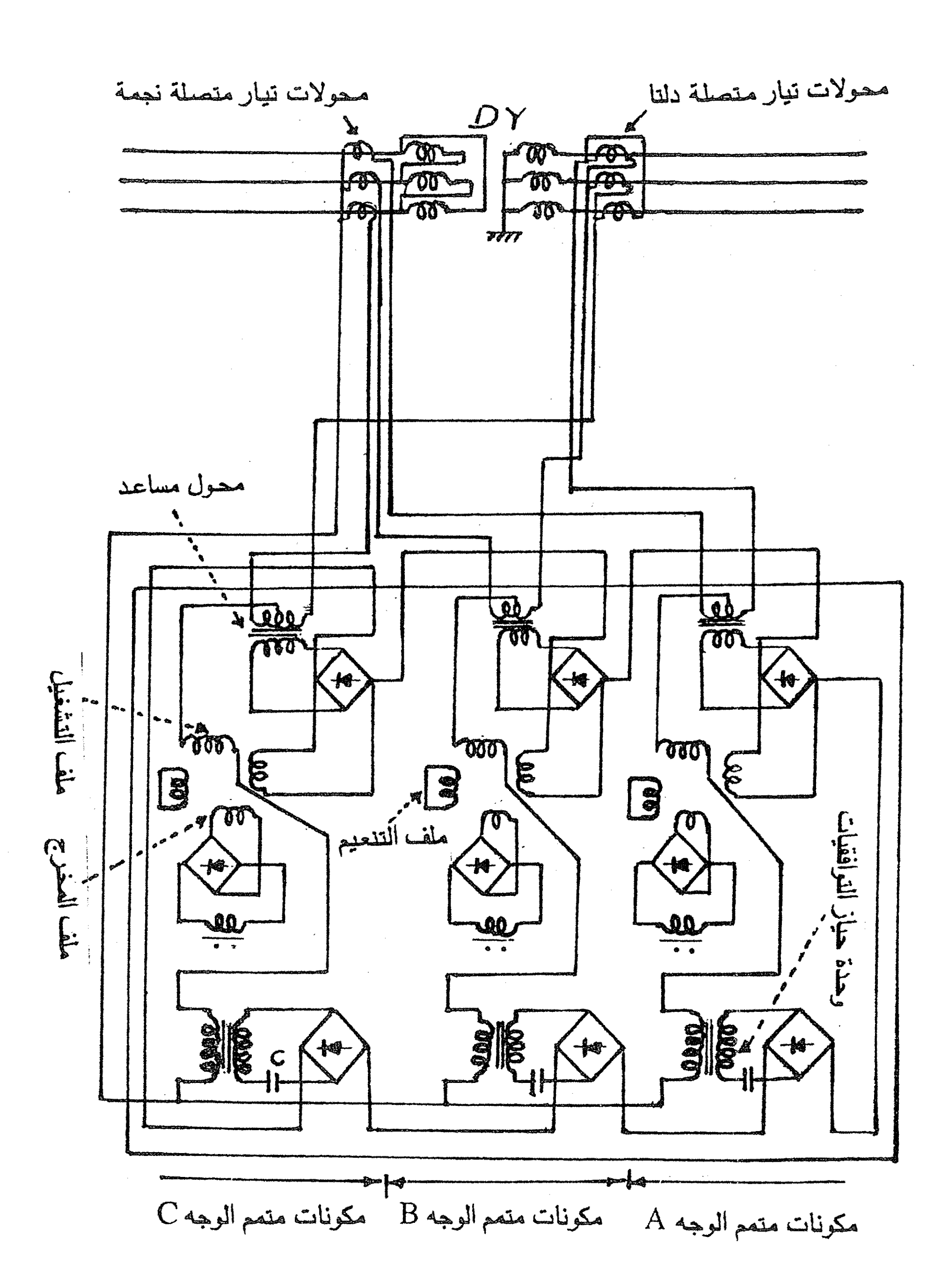
التوافقيات والتيار المستمر *(D.C)* ولذلك يحتوى المتمم على عنصر وقاية ضد زيادة التيار له ضبط عالى بزمن لحظى ، موصل فى دائرة التيار التفاضلى ، والذى يعطى أمر بفصل قاطع التيار بزمن دورة واحدة *(1 Cycle)* إذا تعدى التيار التفاضلى أقصى تيار إندفاعى متوقع .

ويمكن إستخدام فكرة المكبرات المغناطيسية والموضحة فى شكل *(7-16)* ، بعد إضافة دوائر التوليف *(Tuned circuits)* كوحدة حياز التوافقيات للتخلص من مركبة التوافقية الثانية بالتيار التفاضلى ، كما هو موضح فى شكل *(7-19)* ، ومنه نتبين مكونات الثلاثة أوجه ، وقد تم تسليط التيار بعد التوحيد والتجميع على ملف الحياز وتوصيل دائرة التوليف على التوالى مع ملف التشغيل من خلال محول مساعد وذلك لكل وجه ويستخدم هذا النوع لوقاية محول قدرة متصل دلتا/نجمة ويلاحظ طريقة توصيلة محولات التيار على جانبى محول القدرة .

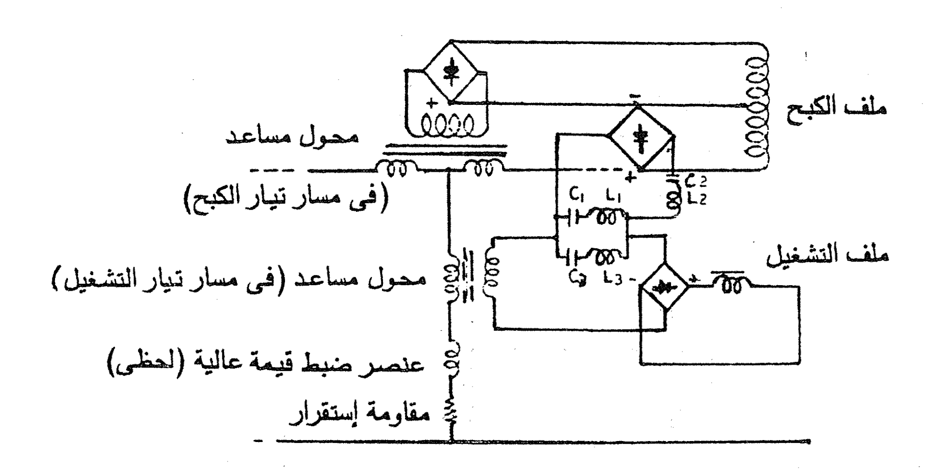
ويوضح شكل *(7-20)* نوع آخر لمتمم كبح التوافقيات (الثانية والثالثة) ، حيث تمثل L_1 , C_1 دائرة متقبل التردد الأساسى ، وتمثل L_2 , C_2 دائرة متقبل التوافقية الثانية ، وتمثل L_3 , C_3 دائرة متقبل التوافقية الثالثة .

ويوضح شكل *(7-21)* نوع آخر ، حيث تمثل *L-C* دائرة مرور التردد الأساسى ، بينما يمنع مرور جميع التوافقيات الأخرى خلال هذا المرشح ولكن تمر إلى قنطرة توحيد كبح الوافقيات .

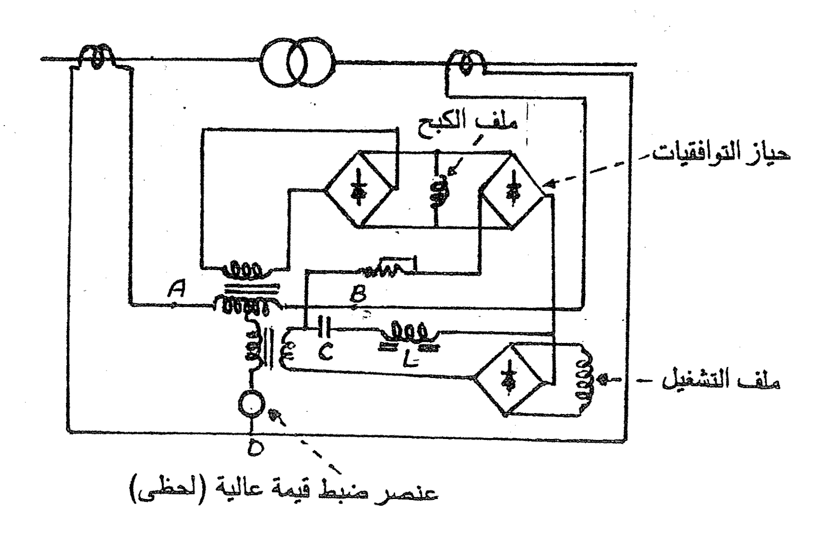
كذلك يوضح شكل *(7-22)* نوع رابع لمتمم كبح التوافقيات ، حيث تمثل L_1 , C_1 دائرة مرور التردد الأساسى ، بينما تمثل L_2 , C_2 دائرة منع مرور التردد الأساسى (أى مرور التوافقيات) ، ويلاحظ أن تيار الكبح الكلى يكون عبارة عن المجموع الجبرى للتيار I_1+I_2 مع تيار التوافقيات . ويكون عنصر المخرج من نوع ملف متحرك مستقطب *(Polarized moving coil)* ، والمقاومة المتغيرة R_1 لضبط قيمة التوافقيات بينما R_2 لضبط قيمة تيار الكبح . كما تكون *NR* مقاومة غير خطية لوقاية دائرة المتمم من الموجات الفجائية . وتستخدم محولات تيار ذات ثغرة هوائية لضمان الحصول على علاقة خطية عند التيارات الكبيرة ، وكذلك لحذف مركبات التيار المستمر *(D.C)* من التيارات الداخلة إلى المتمم .



شكل (7-19) وحدة حياز التوافقيات



شكل (7-20) متمم كبح التوافقيات

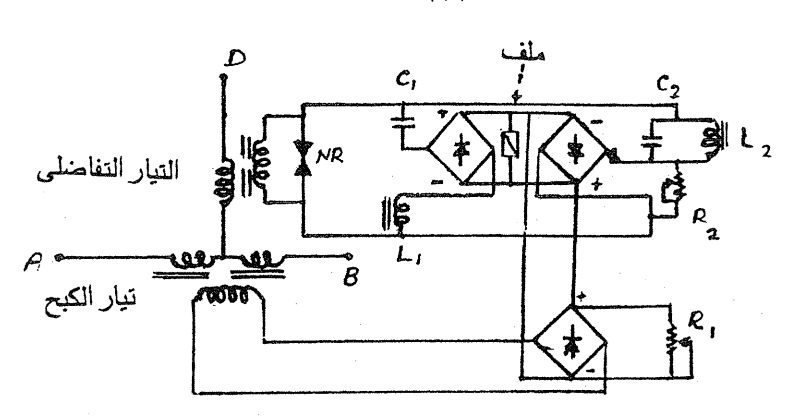


شكل (7-21) متمم كبح التوافقيات

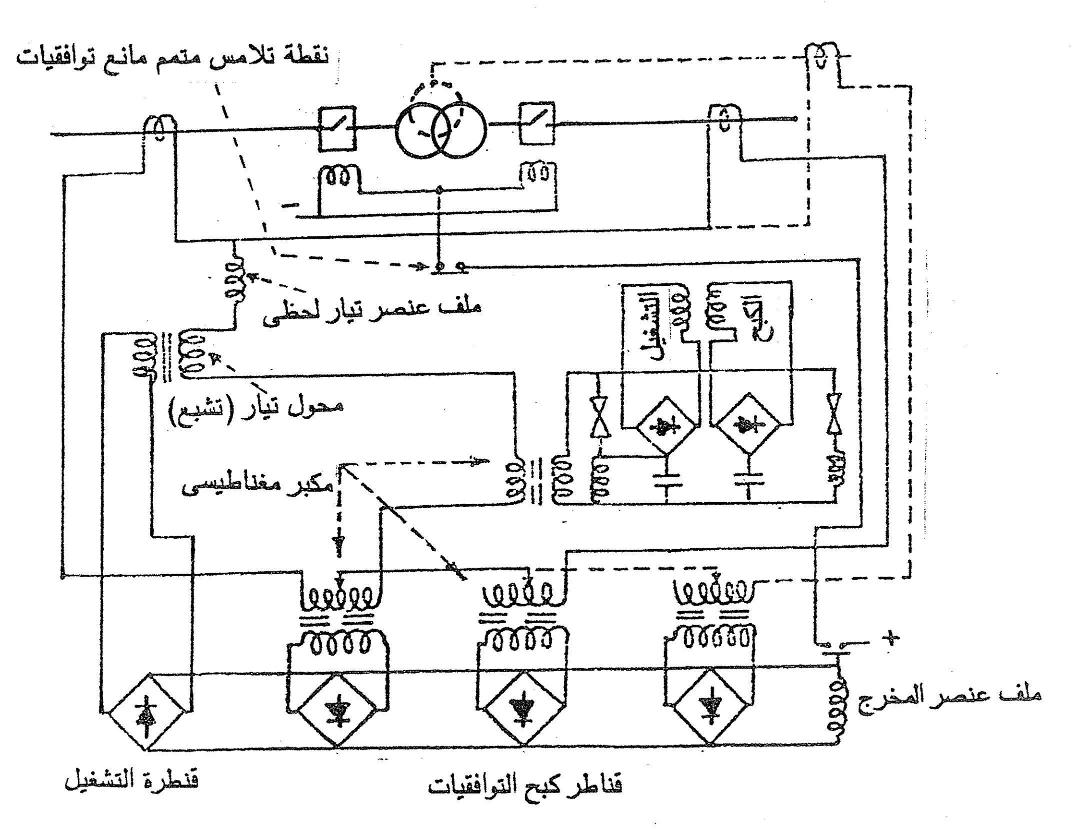
لو أخذنا مثالاً لمتمم مانع التوافقيات ، كما فى شكل *(7-23)* ، حيث تم إضافة عنصر منفصل يكون مسئولاً عن منع التوافقيات ، له نقط تلامس توصل على التوالى مع نقط تلامس متمم الحياز التفاضلى ، ويمنع هذا المتمم الفصل عندما تتعدى قيمة مركبة التوافقية الثانية *15%* من المركبة الأساسية . وفى حالة إستخدامه لمحول قدرة يحتوى على ملفين ، فنستخدم فقط قنطرتى توحيد لدائرتى الكبح بينما عند إستخدام محول قدرة يحتوى على ثلاثة ملفات فإنه يتم إضافة قنطرة توحيد ثالثة ،كما هو موضح بالخطوط المتقطعة .

وتتماثل حالة منع الرنين مع حالة منع التوافقيات ، فيما عدا أن عنصر المنع يضبط على ضعف قيمة تردد النظام . ثم يستخدم التيار التفاضلى بعد التوحيد لتغذية عنصر المنع ، وفى حالة وجود قيمة كبيرة من مركبة التوافقية الثانية فى الدائرة التفاضلية ، والتى يمكن حدوثها نتيجة ظاهرة التيار الإندفاعى الممغنط ، يعطى التيار التفاضلى الموحد عدد من نبضات التيار المستمر *(D.C)* كل ثانية ، معتمداً على تردد النظام ومكونات المتمم . كما تزيد المركبة الأساسية ، عند حدوث الأعطال ، فى الدائرة التفاضلية والتى عندما توحد تعطى ضعف النبضات كل ثانية ويشتغل المتمم ويعطى أمر فصل لقاطع التيار .

ولمنع حياز التيار المستمر *(D.C. bias)* تستخدم الدائرة الموضحة فى شكل *(7-24)* والتى تتكون من مكبر مغناطيسى ذى الحياز النسبى *(Percentage bias transductor)* يغذى بتيار كبح موحد وتيار تفاضلى ، ومكبر مغناطيسى ذى حياز تيار مستمر *(D.C bias transductor)* يغذى من مخرج المكبر المغناطيسى ذى الحياز النسبى وأيضاً من التيار الفرقى . ففى المكبر المغناطيسى المتصل على التوازى مع الحمل نجد أن تيار التشغيل يزيد خطياً مع زيادة مركبة التيار المستمر *(D.C)* فى دائرة التحكم ، عند جهد مخرج ثابت . وتعتبر مركبة التيار المستّمر *(D.C)* الموجودة فى التيار الاندفاعى الممغنط كحياز ذاتى للمتمم الموجود على عنصر المكبر المغناطيسى . وإذا كان التيار الإندفاعى الممغنط ، على نفس الوجه ، لا يحتوى على مركبة تيار مستمر *(D.C)* ، فإن المتمم يصبح مستقراً عن طريق التغذية من مركبة *(A.C)* بالتيار الإندفاعى بالوجه الآخر .



شكل (7-22) متمم كبح الوافقيات



شكل (7-23) متمم كبح التوافقيات

ومن عيوب هذا النوع :

* بطئ عملية تشغيل المتمم نتيجة إحتوائه على مكبر مغناطيسى .

* ونتيجة وجود مركبة التيار المستمر *(D.C)* فى تيار العطل فإنه يحدث تأخير للتشغيل ، بإعتبار أن مركبة التيار المستمر تكون كحياز للنظام .

يوضح شكل *(7-25)* مكونات متمم تفاضلى متغير النسبة يحتوى على كابح توافقيتين *(Variable percentage differential relay with double harmonic restraint)* والذى يجهز بالآتى :

أ) كابح للتيارات الخارجية .

ب) كابح للتيار الاندفاعى الممغنط (أى التوافقية الثانية) .

ج) كابح إثارة فوق المعدل *(Overexcitation)* أو التوافقية الخامسة . لمنع الإشتغال عند مرور تيارات اللا حمل الكبيرة الناتجة من الجهود العالية .

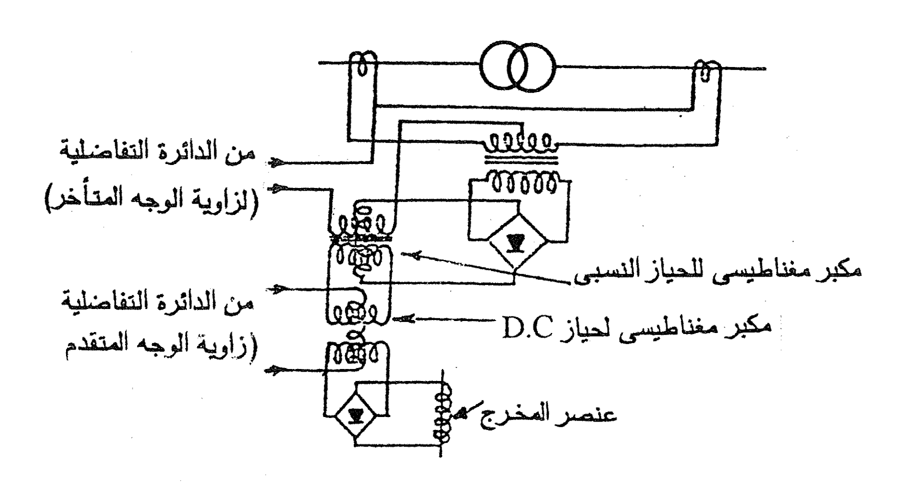
كذلك يحتوى المتمم على عنصر وقاية ضد زيادة التيار اللحظى . وتكون محولات المدخل المساعدة من النوع ذى الثغرة الهوائية والتى تمنع إضافة مركبة التيار المستمر *D.C*

يتكون المتمم ، أساساً ، من ثلاثة عناصر للأوجه *(3-Phase unit)* وعنصر قياس *(Measuring unit)* . حيث يحتوى كل عنصر وجه على دوائر التيار الفرقى $I_{thro\text{-}fault}$ (التيار المار نتيجة الأعطال الخارجية) ، والتيار الإندفاعى الممغنط ، وكابح إثارة فوق المعدل . ويحتوى أيضاً على كاشف مستوى ومكبر تفاضلى ومرشح ومكامل . ويتغذى عنصر القياس من عناصر الأوجه الثلاثة ، ويحتوى عنصر القياس على مصدر جهد مساعد (عبارة عن جهد مرجع ووقاية ضد الموجات العابرة) ، وكاشفى مستوى أحدهما للتشغيل فى حالة مرور تيارات الكبح بينما الآخر يكون للتيارات الكبيرة الغير كابحة وبزمن لحظى ، بالإضافة إلى عنصر مخرج وإشارة بيان إشتغال المتمم .

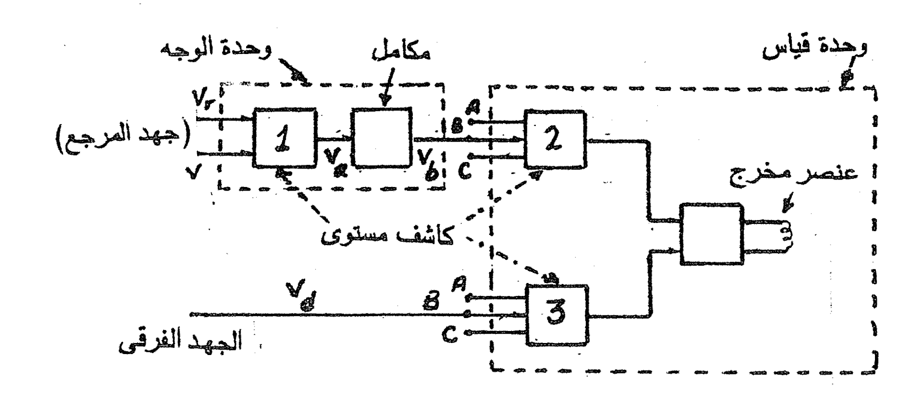
وتعتمد فكرة تشغيل المتمم على :

الجهد الفرقى عن طريق المحول T_1 والمقاومة R_d :

$$V_d = K_1 (I_1 - I_2 - I_3)$$



شكل (7-24) دائرة منع حياز التيار المستمر



شكل (7-25) متمم تفاضلى متغير النسبة

جهد كبح التيارات المجمعة عن طريق المحولات T_4 , T_5 , T_6 خلال الديودات والمقاومة R_c :

$$V_{tr} = K_2 (I_1 + I_2 + I_3)$$

جهد كبح التوافقية الثانية والخامسة عن طريق المحولات T_2 , T_3 والمقاومة R_h تساوى V_{hr}

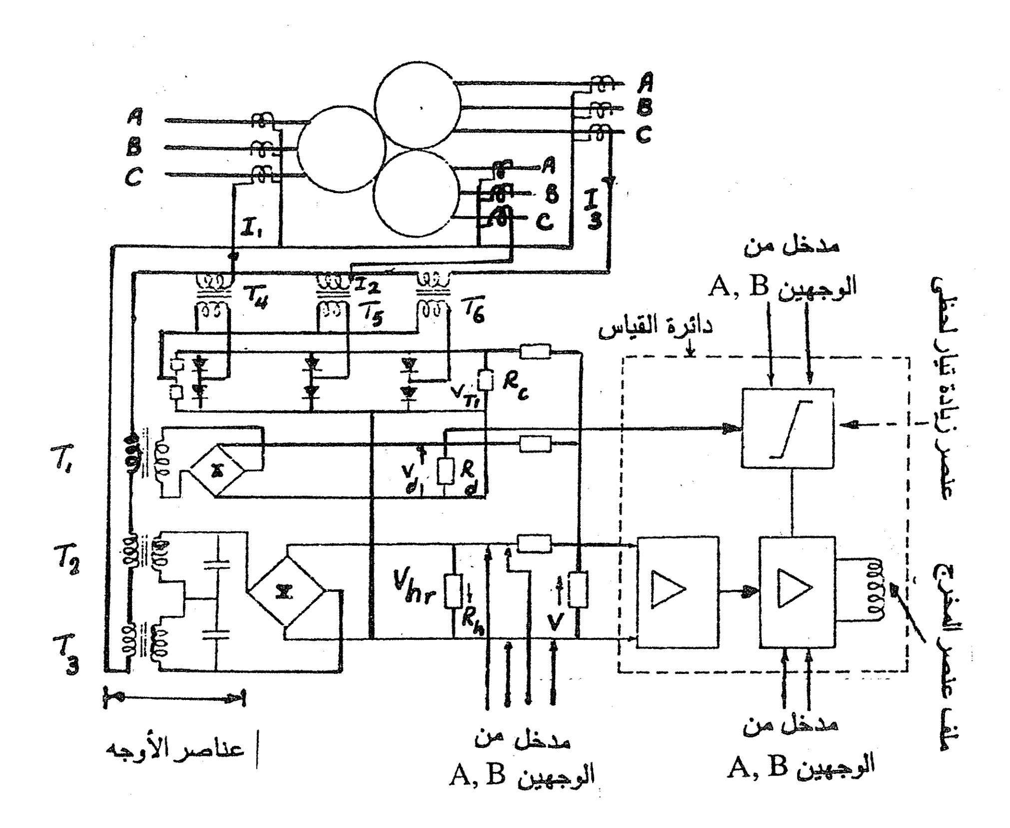
ويكون جهد المخرج النهائى V طبقاً للمعادلة الآتية :

$$V = K (V_d - V_{tr} - V_{hr})$$

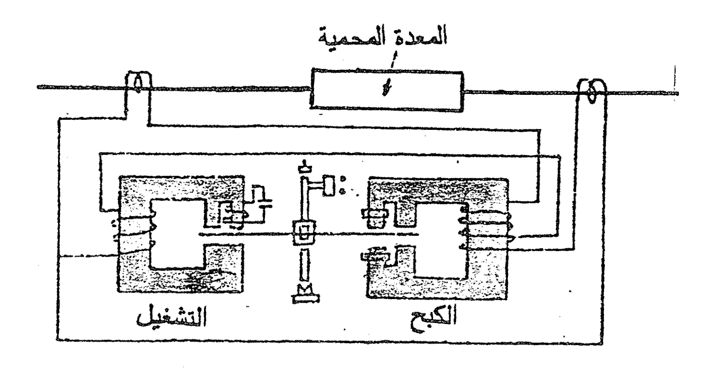
وهذا الجهد يعامل كمدخل من الوجه A لعنصر القياس ، ويماثله ولكن غير موضح جهدى المدخل من الوجهين B , C فى شكل *(7-26)* ، وتولف المكثفات المتصلة على التوازى مع محاثة المحولات المساعدة على مركبة التوافقية الثانية . ويكون هذا مؤثراً إذا تعدت مركبة التوافقية الثانية *20%* من المركبة الأساسية . وبالرجوع الى شكل *(7-25)* نجد أنه يمكن الحصول على جهد مخرج Va من كاشف المستوى *(1)* إذا تعدى الجهد V جهد المرجع V_r ، كما يغذى كاشف المستوى *(2)* ، لعنصر القياس ، بالجهود V_b للثلاثة أوجه (بعد مرورهم على دائرة مكامل) فإذا تعدى جهد المدخل جهد ضبط الكاشف نحصل على جهد مخرج من هذا الكاشف . ثم يمد عنصر المخرج بجهد تشغيله ويتغذى كاشف المستوى *(3)* بالتيار التفاضلى (أو الفرقى) مباشرة والذى يعمل لحظياً عند مرور تيار تفاضلى كبير والذى يغذى أيضاً عنصر المخرج .

كما يمكن أن تحتوى متممات الحياز التفاضلى الكهرومغناطيسية ذى القرص على عنصر كبح التوافقيات ، حيث يتم إضافة ملف ومكثف على القطب المظلل *Shaded pole* للدائرة المغناطيسية الملفوف عليها ملف التشغيل ، كما فى شكل *(7-27)* .

وتكون فكرة إشتغال المتمم أن يحدث أقصى عزم عند تردد النظام ، بينما يهمل العزم عند التوافقيات ، ويزيد عزم الكبح مع زيادة التردد .



شكل (7-26) متمم تفاضلى متغير النسبة



شكل (7-27) متمم الحياز التفاضلى الكهرومغناطيسى

5) المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية

High Impedance Type Differential Relay

توجد فى نظم وقاية القضبان الرئيسية بالمحطات الكهربائية ذات الجهود العالية والفائقة أنواع متعددة لوقاية القضبان ضد الأعطال المختلفة ، من هذه الأنواع :

* متمم الحياز التفاضلى .
* متمم حياز التوافقيات .
* متمم المعاوقة العالية التفاضلى .

وقد ذكرنا النوعان الأول والثانى ، ونوجز فيما يلى فكرة عن المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية .

يتغذى المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية ، من جميع محولات التيار ، المتصلة على الخلايا الموجودة على القضبان الرئيسية وذلك من خلال الملفات الثانوية لمحولات التيار . ويعمل المتمم بفكرة إتزان الجهد ، فعند حدوث تشبع لمحولات التيار، نتيجة مرور تيار القصر العالى ، يتم الحد من قيمة الجهد عن طريق مقاومة الملفات والسلك . وإذا لم يحدث تشبع لمحولات التيار فإن جهد المتمم يصبح صفراً وذلك لأن الجهد خلال المتمم معكوس القطبية . وعند حدوث عطل على القضبان (عطل داخلى) فإن جميع التيارات الثانوية تندفع الى المتمم ويكون الجهد بين طرفى المتمم مساوياً التيارات الثانوية أثناء العطل (بدون تيارات المغنطة) مضروباً فى معاوقة المتمم ، وبذلك يكون الجهد على طرفى المتمم عالى جداً ويوضح شكل *(7-28)*الدائرة المكافئة للمتمم ، حيث :

R_S = مقاومة الإستقرار .

R_{ct} = مقاومة محولات التيار .

R_L = مقاومة الأسلاك .

Z_E = معاوقة المغنطة .

بفرض حدوث قصر على المغذى رقم *(2)* بالشكل ، فإنه يحدث تشبع لمحولات التيار المركبة عليه وتصبح Z_{E2} دائرة قصر ويكون الجهد بين الطرفين PQ كالتالى :

$$V_F = I_F(R_{L2} + R_{ct2})$$

ويكون التيارالمار بالمتمم :

$$I_R = \frac{V_F}{R_s + Z_{relay}}$$

$$= \frac{I_F (R_{L2} + R_{ct2})}{R_s + Z_{relay}}$$

وواضح من المعادلة السابقة أنه بزيادة قيمة مقاومة الإستقرار R_s يمكن تقليل قيمة التيار المار خلال المتمم I_R إلى قيمة لا يشتغل عندها المتمم .

تنخفض قيمة التيار I_R المار فى المقاومة R_s الكبيرة ، وعلى ذلك فإن تيارات المغنطة Im_1 , Im_2 لمحولات التيار $C.T_1 , C.T_2$ تندفع الى الأمام بالتساوى ، ويدفع محول التيار المار به تيار مغنطة أكبر التيارات المتساوية إلى الدوائر الثانوية لمحولات التيار الأخرى ، بمعنى آخر ، عند حدوث عطل خارجى فإن القيمة العالية للمقاومة R_s تمنع إشتغال المتمم لأن جميع الجهود الثانوية لمحولات التيار تجمع وتستمر فى دفع التيار الى المتمم .

يمكن الحصول على قيمة مقاومة الإستقرار R_s من المعادلة :

$$R_s = \frac{V_F - V_R}{I_R}$$

حيث V_R : جهد تشغيل المتمم .

وعند حدوث الأعطال الداخلية ، يجب أن تحدث محولات التيار جهد مخرج كافى لإشتغال المتمم . وعلى ذلك يجب أن يتعدى جهد نقطة المفصل *(Knee-point voltage)* لمحولات التيار جهد الضبط للمتمم . للتشغيل يجب أن يكون جهد نقطة المفصل ضعف الجهد V_F على الأقل ، وكلما زادت قيمة جهد نقطة المفصل كلما زاد ضمان وموثوقية إشتغال المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية .

ويتم ضبط المتمم طبقاً للمعادلة التالى :

$$I_s = I_{Rs} + p I_{es}$$

حيث :

I_s : الضبط الثانوى الحقيقى .

I_{Rs} : تيار ضبط المتمم .

p : عدد محولات التيار المتصلة على التوازى .

I_{es} : تيار الإثارة عند الجهد V_F

ويكون الضبط الإبتدائى الحقيقى *(Effective primary setting)* يساوى :

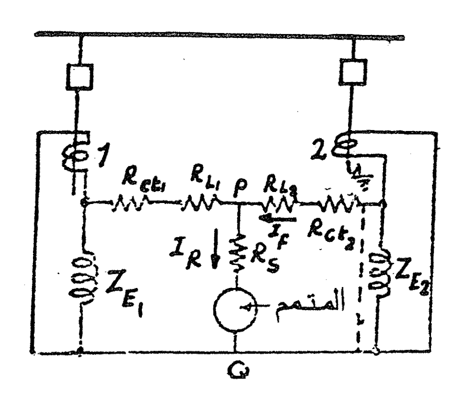
$$I_p = NI_s$$

حيث N : نسبة محولات التيار

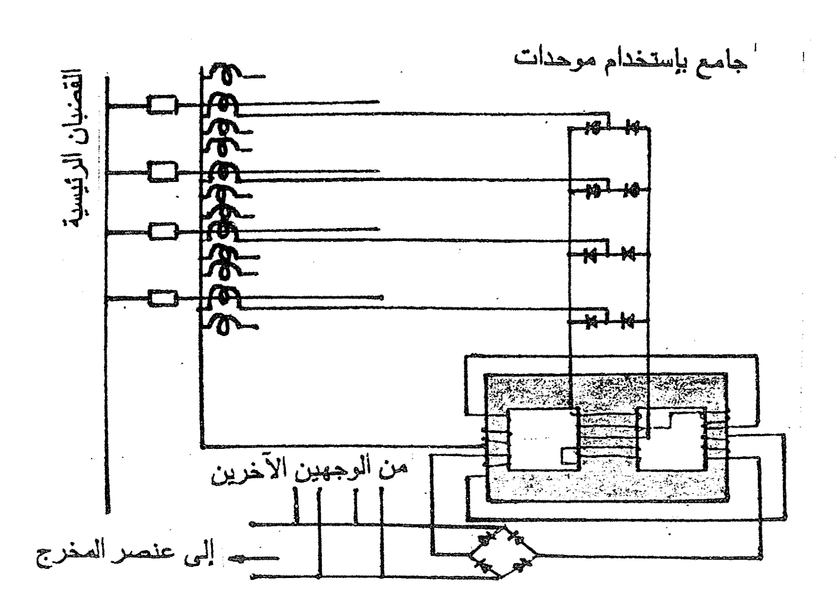
ويجب ألا يتعدى ضبط التيار I_p قيمة *30%* من أقل تيار عطل متوقع *(Prospective fault current)*

وإذا إستخدمنا متمم تفاضلى ذى معاوقة عالية كما فى شكل *(7-29)* لوقاية القضبان الرئيسية ، والذى يتكون من مكبر مغناطيسى *(Transductor)* ، وفى هذه الحالة يتم حذف ملف الكبح حيث يحدث الإتزان أو الإستقرار عند حدوث الأعطال الخارجية وبالتالى لا نحتاج إلى ملف الكبح . ويراعى توصيل جميع الملفات الثانوية لمحولات التيار على التوازى . أما إذا لم تكن نسبة تحويل محولات التيار سليمة فإننا نستخدم محولات تيار مساعدة لتصحيح النسبة مع إستخدام نقط التقسيم المناسبة للحصول على إتزان التيارات والتى يكون مجموعها يساوى الصفر فى حالات التشغيل العادية . ويوضح الشكل كذلك توصيل محولات تيار لوجه واحد فقط حيث تكون توصيلة الوجهين الآخرين متماثلة .

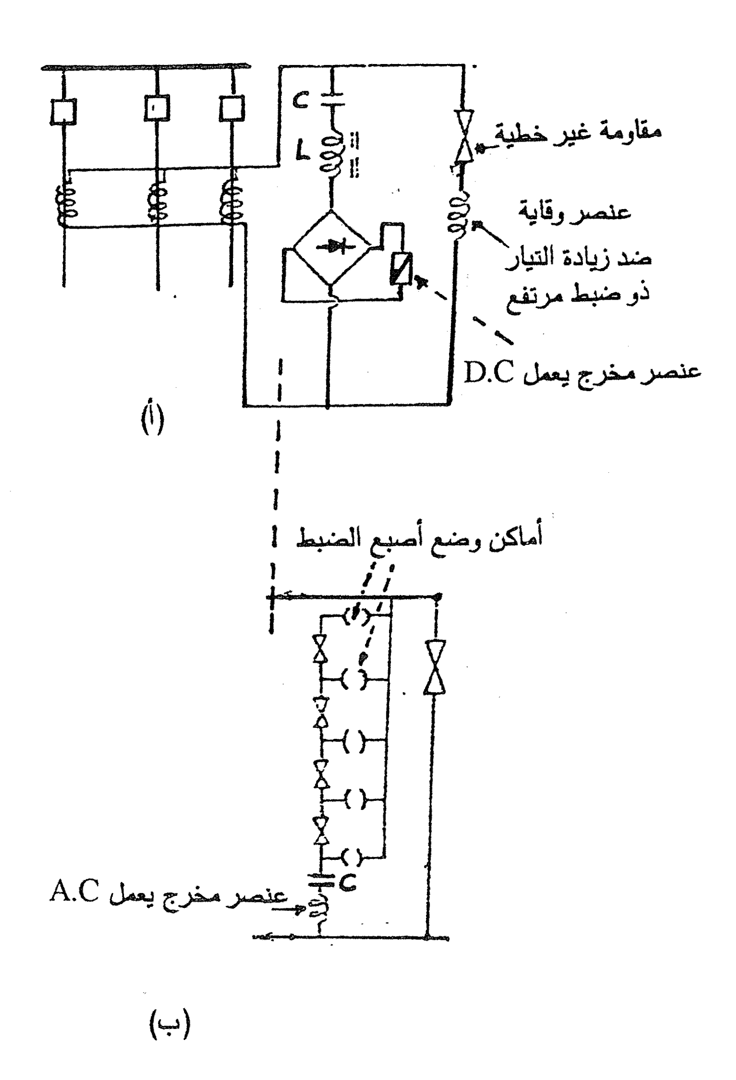
وهناك نوع آخر لمتمم الوقاية التفاضلى ذى المعاوقة العالية فى شكل *(7-30)* والذى يتكون أساساً من : قنطرة توحيد - دائرة توليف *L-C* - مقاومة غير خطية . وتتسبب القيم المتماثلة لتيار القصر فى الجهد الدائرى V_F (طبقاً لمعادلة السابقة) . حيث يكون التأخير الزمنى للتشغيل مهمل ، ولكنه يتحسن عند إستقرار الأعطال نتيجة إعاقة تشغيل المتمم الحادث من مركبة التيار المستمر *(D.C)* والتوافقيات . للتغلب على مخاطر زيادة الجهد أثناء الأعطال الداخلية الصارمة تستخدم مقاومة غير خطية *(Non-linear resistor)* . يساعد عنصر الوقاية ذا الضبط العالى *(High set*



شكل (7-28) المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية



شكل (7-29) المتمم التفاضلى ذى المعاوقة العالية



شكل (30-7) متمم الوقاية التفاضلى ذى المعاوقة العالية

instantaneous O.C) المتصل على التوالى مع المقاومة غير الخطية فى إعطاء أمر فصل سريع خلال الأعطال الداخلية الصارمة وفى نفس الوقت لا يفصل عند حدوث أعطال خارجية شديدة .

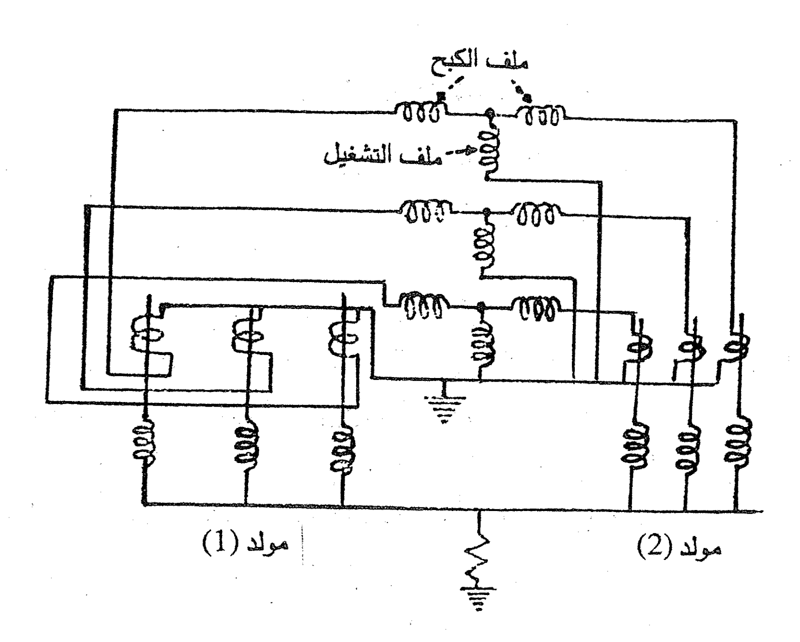
ويعمل عنصر المخرج ، فى هذه الحالة ، بالتيار المستمر *(D.C)* .

وفى حالة عمل عنصر المخرج بالتيار المتردد *(A.C)* ، يمكن إستخدام التوصيلة بالشكل *(7-30)*ب كما يمكن منع مركبة التيار المستمر *(D.C)* الموجودة بموجة التيار بإستخدام المكثف *C* . ويتم التحكم فى قيمة اللقط أو إشتغال المتمم عن طريق توصيل مقاومات غير خطية حيث تعطى ضبط جهد حاد وفصل أسرع للقيم الأكبر من قيمة الضبط . يفضل إختيار ضبط الجهد للمتمم عند نصف قيمة جهد نقطة المفصل لمحولات التيار . وللحد من قيمة الجهد الزائد تضاف مقاومة خطية على التوازى والتى تجعل أقص قيمة للجهد *900* ڤولت وبذلك تحمى عزل الأسلاك المستخدمة فى الدوائر الثانوية .

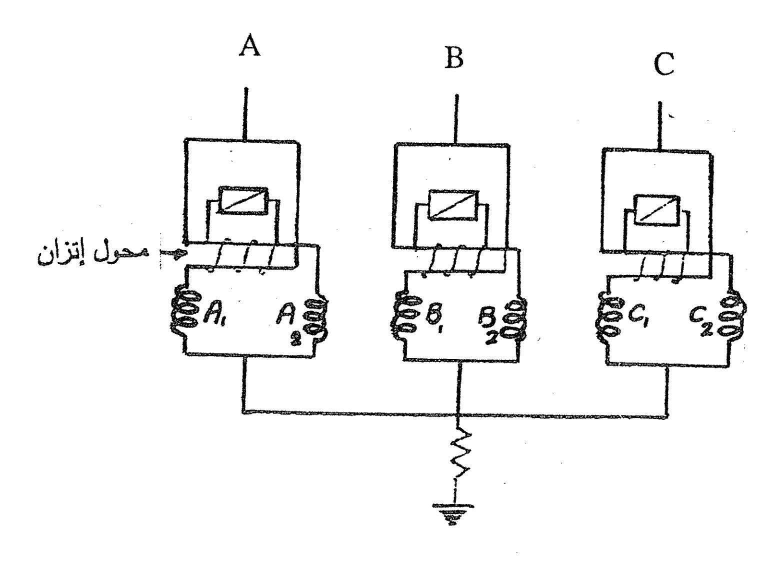
وتعتبر المقاومة الخطية كبيرة الحجم وغالية الثمن . بالإضافة إلى تغيير قيمة مقاومتها مع تغيير درجة الحرارة وهذا يجعل من الصعوبة الإحتفاظ بقيمة ضبط المتمم ، وكذلك يمكن حدوث جهود زائدة جداً بين أطر ف الملفات الثانوية لمحولات التيار .

6) المتمم التفاضلى العرضى *Transverse Differential Relay*

يستخدم هذاالنوع عادة لكشف أعطال اللفات الداخلية *Inter-turn fault* للمولدات المتصلة على التوازى . ويوضح شكل *(7-31)* مولدين متصلين على التوازى ويتم توصيل محولى التيار على نفس الوجه بملفى الكبح والتشغيل لنفس الوجه على المتمم وبالمثل لباقى الأوجه . ففى حالة التشغيل العادى فإن التيار المار بالملفين المتوازيين للمولدين يكون متساوياً . وفى حالة أعطال داخل اللفات لأى من المولدين ، المتصلين على التوازى ، فإن التيارين يكونا غير متساوين ويؤدى ذلك إلى إشتغال عنصر المخرج . كما يوضح شكل *(7-32)* نفس الفكرة ولكن بإستخدام محولات تيار الإتزان *(Core balance C.T)* والذى يكون ذو حساسية عالية .



شكل (31-7) دائرة المتمم التفاضلى العرضى



شكل (32-7) دائرة المتمم التفاضلى العرضى

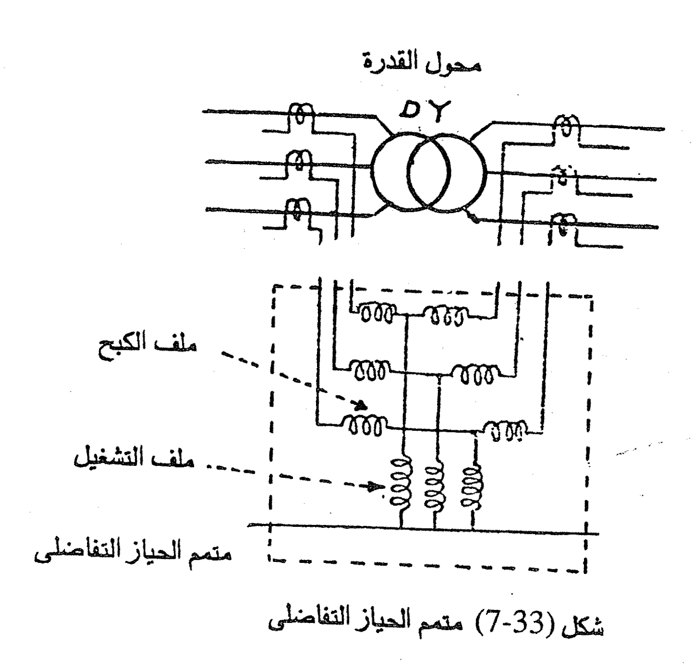
توصيل محولات التيار المستخدمة للمتمم التفاضلي

إذا كان لدينا محول قدرة يحتوى على ملفين ويلزم توصيل محولات التيار على جانبى هذا المحول لمتمم الحياز التفاضلي ، كما فى شكل *(7-33)* ، فيجب أولاً معرفة المجموعة الإتجاهية لمحول القدرة ثم توصل محولات التيار بعكس توصيلة ملفات محول القدرة ، فمثلاً إذا كانت المجموعة الإتجاهية لمحول القدرة Dy فإنه يتم توصيل محولات التيار جهة التوصيلة D على شكل Y بينما توصل محولات التيار جهة التوصيلة Y على شكل D . ويكون الغرض من ذلك :

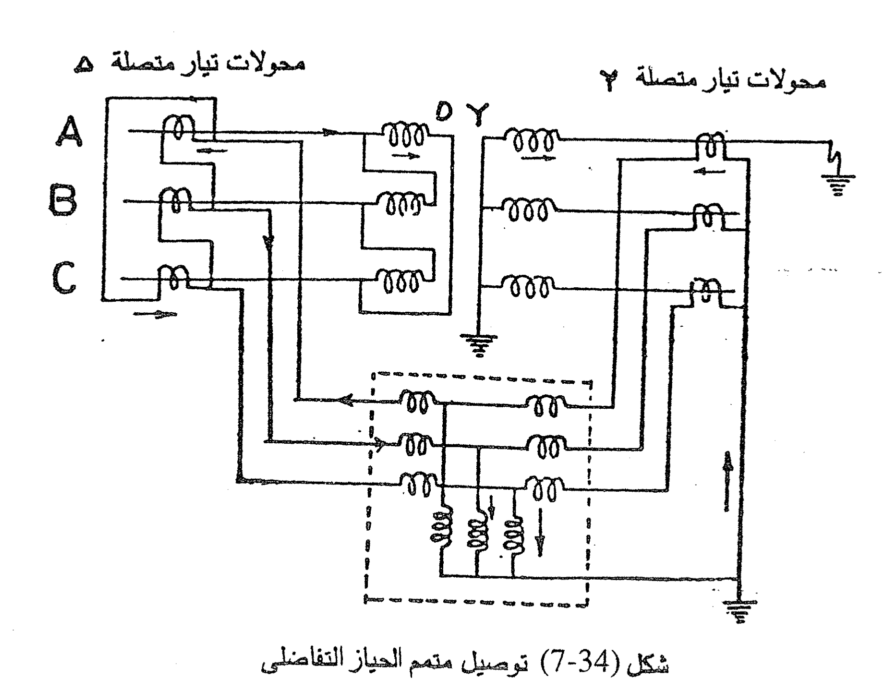
* تصحيح زاوية إزاحة التيار الناتج من التوصيلة الإتجاهية لملفات محول القدرة .
* التأكد من إستقرار نظام الوقاية عند حدوث أعطال خارجية .

إذا لم يتم توصيل محولات التيار على جانبى محول القدرة بالطريقة الصحيحة فإن متمم الوقاية التفاضلي يشتغل إشتغالاً خاطئاً مع بعض الأعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، فمثلاً إذا تم توصيل محولات التيار على شكل Y جهة التوصيلة Y للمحول ، وتوصيل محولات التيار على شكل D جهة التوصيلة D للمحول، كما فى شكل *(7-34)* ، ففى حالة الأحمال العادية أو فى حالة قصر على الثلاثة أوجه أو على وجهين خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، فلا تؤدى هذه التوصيلة إلى إشتغال المتمم إشتغالا خاطئاً ، بينما عند حدوث قصر على أحد الأوجه خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن المتمم يشتغل إشتغالاً خاطئاً نتيجة عدم إتزان التيار على الجانبين وبالتالى مرور تيار فى ملفات التشغيل بالمتمم ويوضح شكل *(7-34)* مرور التيارات فى هذه الحالة .

لذلك فمن الضرورى توصيل محولات التيار ، الموجودة على جانب المحول المتصل Y ، على شكل دلتا D وذلك للسماح لتيار التتابعية الصفرية للمرور داخل الدلتا (أى توصيلة محولات التيار) فى حالة حدوث قصر على أحد الأوجه خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، كذلك يتم توصيل محولات التيار ، الموجودة على جانب المحول المتصل D ، على شكل نجمة Y وفى هذه الحالة فإن مركبتى التيار للتتابعية الموجبة والسالبة يمرا فى مجموعتى محولات التيار على الجانبين ويكون من الممكن الحصول على حالة الإتزان لجميع حالات الأعطال خارج المنطقة الداخلة



شكل (33-7) متمم الحياز التفاضلى



شكل (34-7) توصيل متمم الحياز التفاضلى

فى مجال الوقاية ، ويوضح شكل (7-35) حالة حدوث قصر على الوجه A ولا تمر أى تيارات بملفات التشغيل بالمتمم . وفى حالة محول قدرة له توصيلة إتجاهية Yy ونقطتى التعادل مؤرضتان ولا يحتوى المحول على ملف ثالث (Tertiary winding) فإنه يمكن توصيل مجموعتى محولات التيار على جانبى المحول على شكل Y بدون أى مخاطر للتشغيل الخاطئ لمتمم الوقاية التفاضلى .

وقد نحتاج أحياناً فى بعض محولات القدرة لتصحيح نسبة محولات التيار وذلك بإضافة محولات تيار مساعدة كما فى شكل (7-36) ، وبيانات المحول ، مثلاً ، هى :

* القـــــــــدرة : 30 م.ف.أ .
* نسبة تحويل المحول : 132/33 ك.ف .

ويمكن حساب التيار الابتدائى I_p كالآتى :

$$I_p = \frac{30 * 10^6}{\sqrt{3} * 132 * 10^3} = 131\,A$$

وبحساب التيار الثانوى I_s :

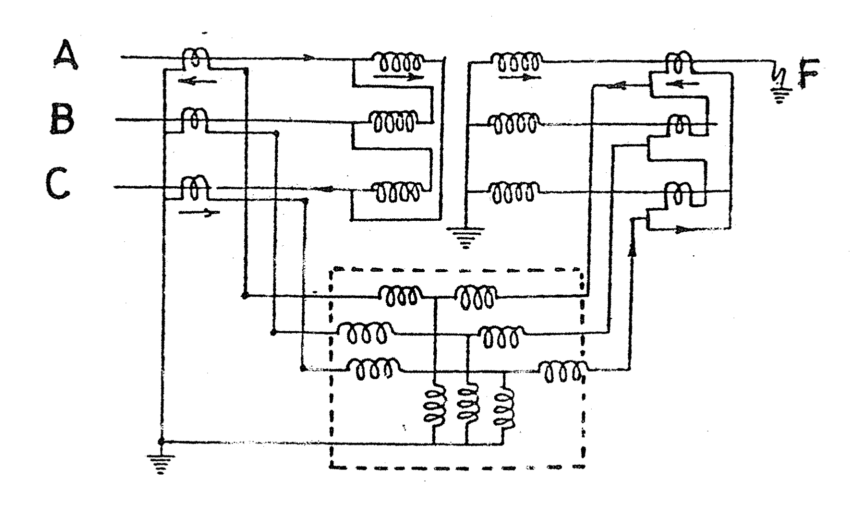
$$I_s = \frac{30 * 10^6}{\sqrt{3} * 33 * 10^3} = 524\,A$$

نختار نسبة محولات التيار على الجانبين 150/1 , 600/1 وهما أقرب النسب القياسية بالمقارنة بالقيم المحسوبة .

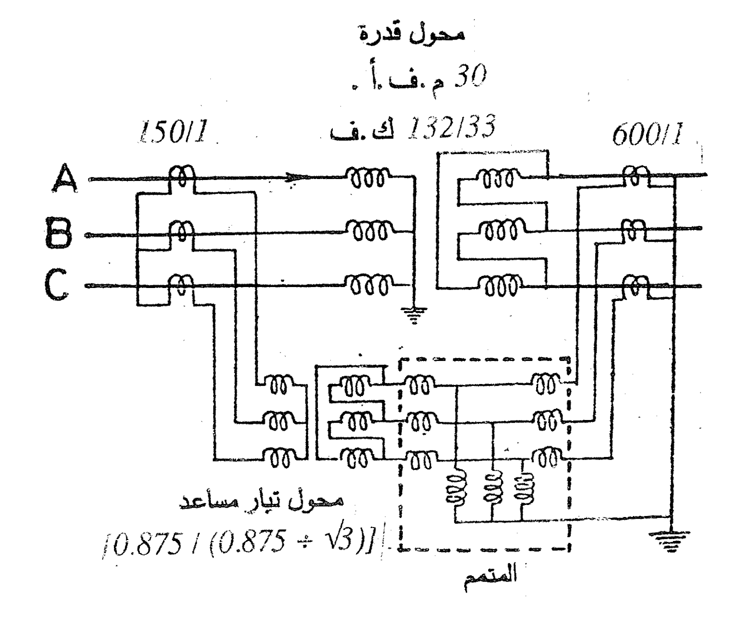
وعند مرور تيار الحمل العادى أى 131 أمبير فى الملف الإبتدائى للمحول فإنه يتحول إلى الملف الثانوى لمحول التيار بالقيمة $(131 \div 150 = 0.875\,A)$ لذلك يحتاج لإضافة محول تيار مساعد يوصل نجمة / دلتا وتكون نسبة التحويل له $[0.875 / (0.875 \div \sqrt{3})]$.

كما يستخدم متمم الوقاية التفاضلى أيضاً مع محولات القدرة الذاتية (Auto transformers) ومحولات القدرة ذات التوصيلة سكوت (Scott-connected transformers) ، والموضحين فى شكلى (7-37) , (7-38) .

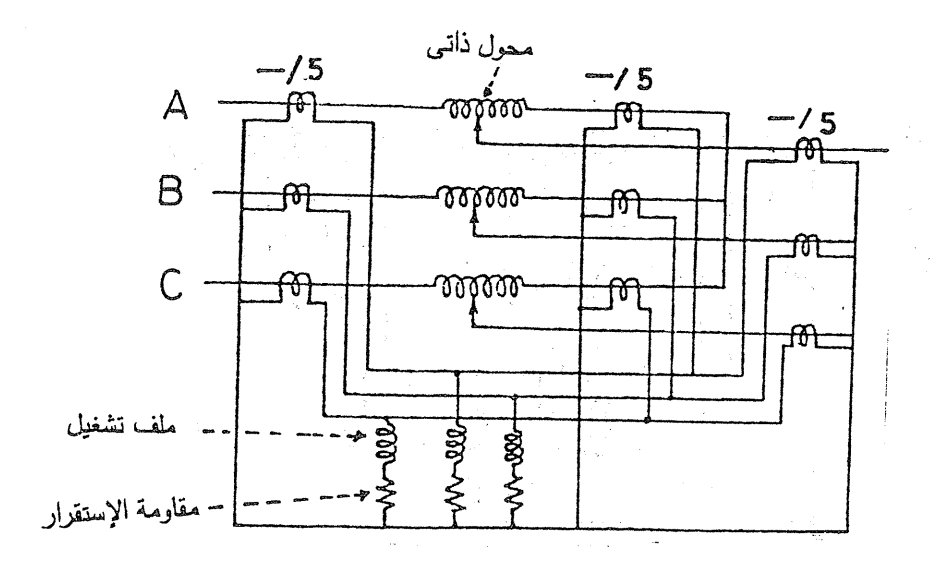
ويلاحظ أن ظاهرة التيار الإندفاعى الممغنط (Magnetizing inrush current)



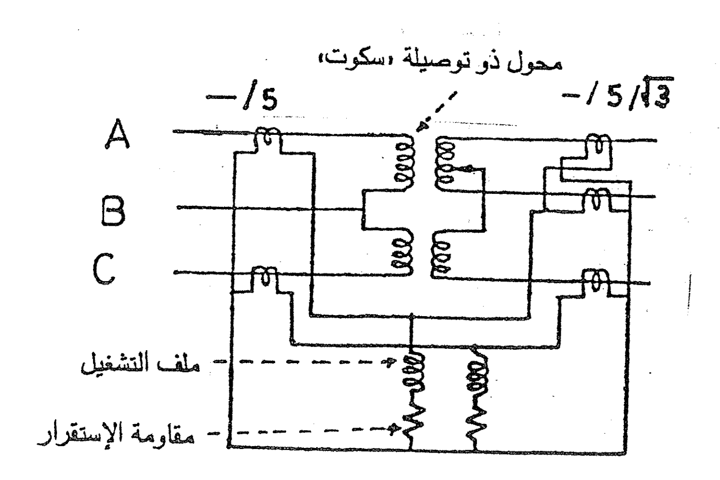
شكل (35-7) حدوث قصر على الوجه A



شكل (36-7) إضافة محول تيار مساعد



شكل (37-7) الوقاية التفاضلية للمحول الذاتى



شكل (38-7) الوقاية التفاضلية لمحول ذات التوصيلة «سكوت»

لا تؤثر على التشغيل فى حالة المحول الذاتى وذلك لعدم وجود عزل بين الملفات الابتدائية والثانوية للمحول .

أما فى المحولات ذات التوصيلة «سكوت» ، والموضحة فى شكل *(7-38)* فيستخدم محولين للتيار على الجانب الابتدائى لهما نسبة تحويل تعتمد على قدرة المحول ولكن التيار الثانوى المقنن يكون *5 Amp.* بينما تستخدم ثلاثة محولات تيار على الجانب الثانوى يكون لهم تيار ثانوى مقنن يساوى $5 \div \sqrt{3}$, $5 \div \sqrt{3}$, *5 Amp* ويعامل المحول عند حدوث أعطال خارج أو داخل المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية كما فى الحالات السابقة .

أمثلة لمتممات الوقاية التفاضلية :

يوضح شكل *(7-39)* متمم وقاية تفاضلى كهرومغناطيسى من النوع ذى الملف المتحرك - صناعة سويسرية - يمتاز بتغلبه على حالات التيار الإندفاعى ، ويستخدم لوقاية المولدات والمحولات .

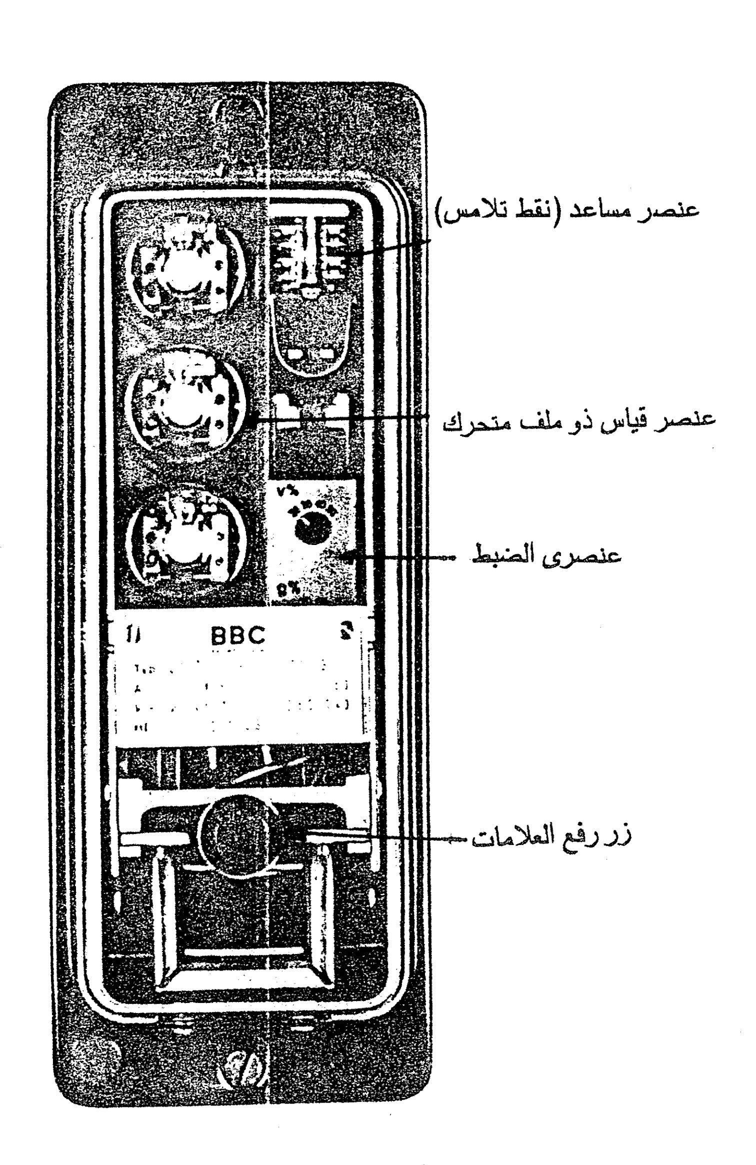
حيث يوصل المتمم مع الدوائر الثانوية لمحولات التيار على جانبى المعدة .

وتضبط التيارات بحيث تتساوى القيم والزوايا فى حالات التشغيل العادية (بدون أعطال) بالمعدة ، ويكون المتمم مسئولاً عن الأعطال الآتية والتى يمكن حدوثها فى المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية :

* حدوث قصر بين وجهين .
* حدوث قصر بين الأوجه الثلاثة .
* الأعطال الأرضية للمحولات المؤرضة من خلال مقاومة أو مؤرضة مباشرة .
* الأعطال الأرضية للعضو الثابت فى المولدات المؤرضة من خلال مقاومة أو مؤرضة مباشرة .
* أعطال اللفات الداخلية *(Inter-turn)* بالمحولات .

يركب المتمم لمحول قدرة ذى ملفين أو ثلاثة ملفات لنظام ثلاثى الأوجه .

ويبين شكل *(7-40)* المكونات الأساسية للمتمم وطريقة توصيل الدوائر الأساسية له والتى تتكون من :



شكل (7-39) متمم الوقاية التفاضلى الكهرومغناطيسى

* محول تيار مساعد ، يرمز له W_d ، ويمر به تيار التشغيل $I_\Delta = I_1 - I_2$

* قنطرة توحيد A تغذى بتيار التشغيل .

* محول تيار مساعد ، يرمز له W_H ، يمر به تيار الكبح $I_H = \dfrac{I_1 + I_2}{2}$

* قنطرة توحيد H تغذى بتيار الكبح (أو الحياز) .

* عنصر مخرج عبارة عن عنصر قياس ذى ملف متحرك *(Moving-coil measuring element)*

ويعتمد إشتغال عنصر المخرج على العلاقة :

$$I_O = I_\Delta - I_H$$

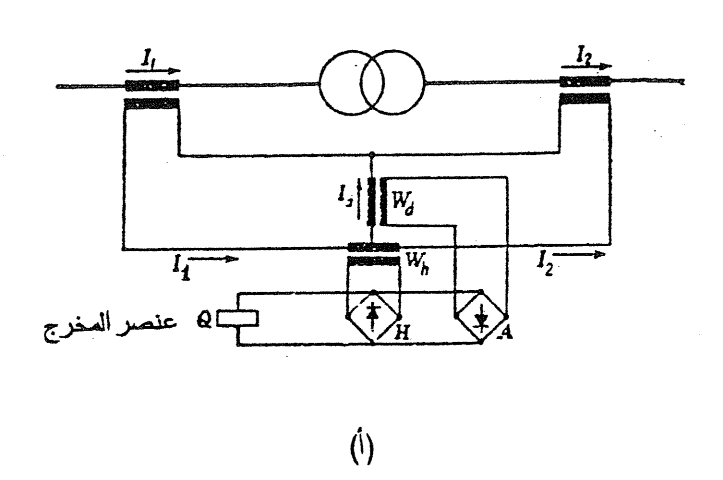
حيث I_O هو التيار المار بعنصر المخرج فى الإتجاه الأمامى ، ويعمل المتمم عندما يزيد التيار I_O عن قيمة الضبط .

ويحتوى المتمم أيضاً على دائرة إستقرار عبارة عن المحول المانع *(Blocking transformer)* ويرمز له W_s (ويوصل على التوالى مع محول التيار المساعد W_d) كما فى شكل *(7-40)*ب . كما يوضح نفس الشكل أيضاً كيفية توصيل المتمم على محول قدرة ذى ملفين أو ثلاثة ملفات .

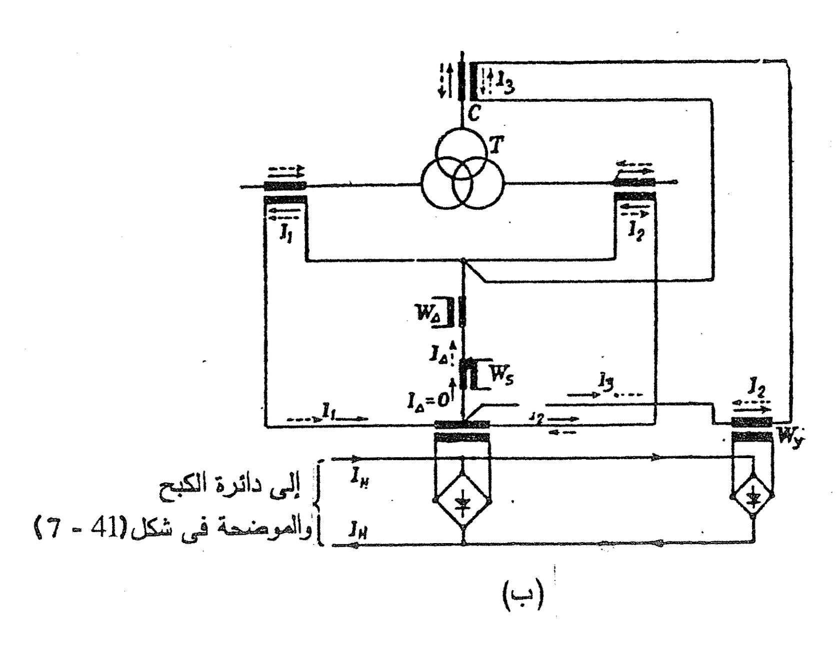
ويلاحظ بالشكل *(7-41)* مكونات الوجه A بالمتمم ويماثلها تماماً مكونات الوجهين B, C.

ففى حالة التشغيل العادى ، يتساوى التياران I_1 , I_2 ويصبح التيار الفرقى *(Difference current)* مساوياً للصفر $[I_\Delta = I_1 - I_2 \cong 0]$

وبالتالى فإن ملف عنصر القياس ذى الملف المتحرك لا يمد بتيار لتشغيله ، وبالتالى لا يعمل عنصر المخرج ، بينما إذا حدث قصر داخل المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن التيار I_Δ يصبح له قيمة ويكون التيار I_H صغير جداً ولكن يمد ملف عنصر القياس بتيار لتشغيله ويعمل عنصر المخرج وفى حالة حدوث قصر خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن المتمم لا يعمل على الرغم من تشبع محولات التيار وعدم تماثل التيار لأن تيار الكبح ، فى هذه الحالة ، يكون عالياً .



(أ)



(ب)

شكل (40-7) دائرة المتمم الموضح فى شكل (39-7)

* عنصر الضبط (g)

حيث تعتمد قيمة تشغيل المتمم على قيمة الضبط الأساسى (g) ، والذى يعرف بأنه أقل قيمة تيار فرقى (ويعبر عنه كنسبة مئوية من التيار المقنن) عند تيار كبح يساوى صفر ، بمعنى آخر يعرف (g) من المعادلة :

$$g = \frac{I_\Delta}{I_n} * 100\% \text{ عند } I_H = 0$$

ويتم الضبط من خلال المقاومة (13) فى شكل $(7\text{-}41)$

* عنصر الضبط (V)

ويسمى V بنسبة اللقط $(Pick\text{-}up\ ratio)$ أو الحياز $(Bias)$ ويعرف بأنه نسبة التيار الفرقى I_Δ منسوباً إلى تيار الكبح I_H ، أو طبقاً للمعادلة :

$$V = \frac{I_\Delta}{I_H} * 100\%$$

$$= \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2) / 2} * 100\%$$

ويتم الضبط من خلال المقاومة (V) فى شكل $(7\text{-}41)$.

وبالرجوع إلى شكل $(7\text{-}41)$ ، وفى حالة محول قدرة ذى ثلاثة ملفات ، فإنه يستخدم محولى تيار كبح هما W_y , W_H ، وتكون التيارات I_1 , I_2 , I_3 متساوية فى حالة الأعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية . وتخضع تيارات الكبح للمعادلتين :

$$I_H = \frac{1}{2} (I_1 + I_2)$$

$$I_Y = I_3$$

أما فى حالة عدم تساوى التيارات فإن تيار الكبح الأكبر هو الذى يتسبب فى عدم إشتغال المتمم .

* التيار الإندفاعى *Inrush current*

وكما ذكرنا سابقاً ، فإنه عند توصيل محول القدرة يمرتيار إندفاعى كبير جداً بدائرة المحول . ويمر بمتمم الوقاية التفاضلى التيار الفرقى ، ويكون شكل هذا التيار كما فى شكل *(7-42)* وبتحليل هذاالتيار نجد أنه يحتوى على نسبة عالية من تيار التوافقية الثانية ، والذى يكبر ويعمل على تشغيل عنصر القياس فى الإتجاه المانع *(Blocking direction)* ويتم تكبير الرنين عن طريق مرشح بالدائرة الثانوية لمحول المانع W_s (بشكل *(7-41)*) ويخضع تردد المرشح للعلاقة الموضحة بشكل *(7-43)* لثلاثة قيم للتيار الفرقى .

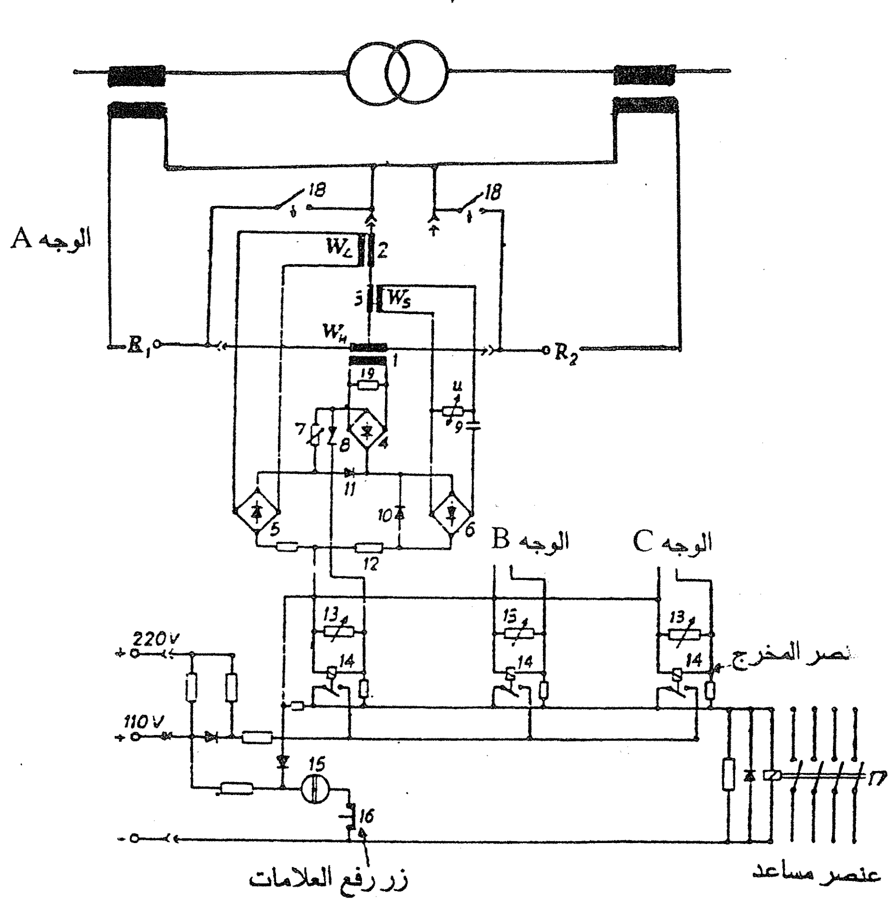
فى شكل *(7-41)* ، يمر تيار المانع *(Blocking current)* خلال الديود رقم *11* وبالتالى لا يمر خلال المعاوقة رقم *7* (والمستخدمة لضبط الحياز) أو خلال قنطرة التوحيد رقم *4* (والمستخدمة لتيار الكبح) . ومن هذا يتضح خصائص المانع والتى لا تعتمد على الحياز .

وتعتبر أغلب متممات الوقاية التفاضلية متممات لحظية ، أى لا تحتوى على عنصر تأخير زمنى ، ولكن بمجرد إشتغال المتمم نحصل على إشارة ، مخرج لفصل قاطعى التيار على جانبى المحول أو المولد . ولكن للمتمم زمن تشغيل داخلى يتراوح تقريباً بين *50 : 20* مللى ثانية ، ويعتمد على قيمة الضبط *(g)* .

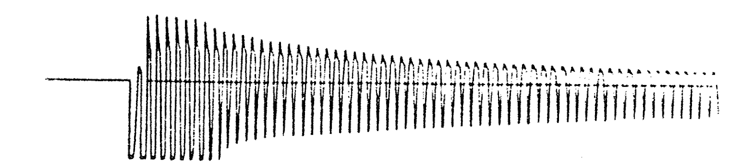
وتتضح العلاقة بين التيار الفرقى I_Δ ، والزمن t_Δ من الشكل *(7-44)* .

تصنف بعض المراجع هذا المتمم كأحد أنواع المتممات الاستاتيكية وذلك لإحتوائه على مقارن قيمة (قناطر التوحيد) ، بينما تعتبره بعض المراجع متمم كهرومغناطيسى وذلك لإحتوائه على عنصر قياس من النوع ذى الملف المتحرك ، ويعتبر التصنيف الأخير هو الأنسب كما سيتضح فيما بعد .

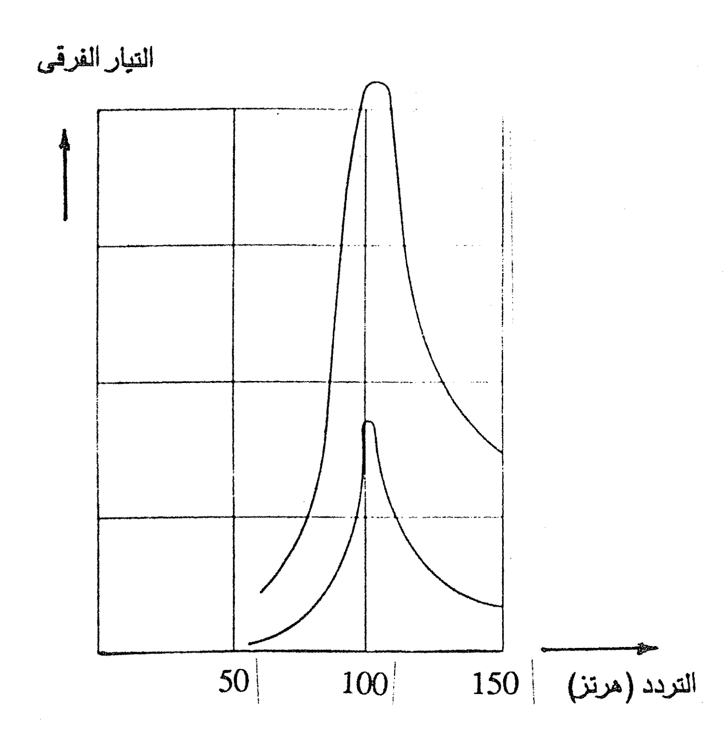
ويوضح شكل *(7-45)* متمم وقاية تفاضلى استاتيكى ـ صناعة سويسرية ـ يركب على المحولات أو المولدات ـ ثلاثى الأوجه ـ ويحتوى على عنصر مانع التيارات الإندفاعية ـ كما أنه سريع الإستجابة لجميع الأعطال الأرضية أو أعطال الأوجه أو أعطال الملفات الداخلية بالمحول أو المولد . ويستخدم لمحولات القدرة ذات الملفين أو الثلاثة ملفات .



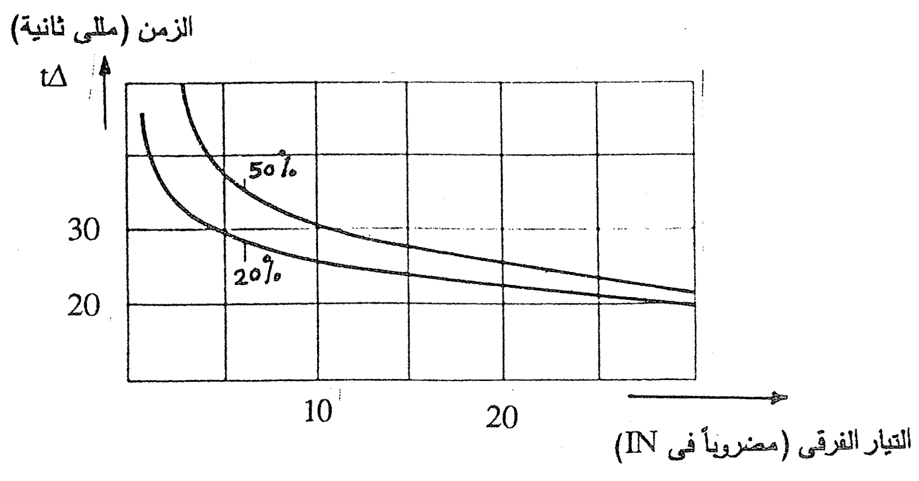
شكل (7-41) دائرة الوجه A للمتمم الموضح فى شكل (7-39)



شكل (7-42) التيار الإندفاعى



شكل (7-43) العلاقة بين التردد والتيار الفرقى



شكل (7-44) العلاقة بين التيار الفرقى والزمن

ويوضح شكل *(7-46)* طريقة توصيل المتمم على محول قدرة ذى ملفين ، ويشبه مكونات المتمم فى شكل *(7-41)* ولكن بعد عمل المقارنة عن طريق الموحدات تتم التغذية إلى عنصر قياس من النوع الاستاتيكى والمشار له بالرمز M بشكل *(7-46)* ، وهو عبارة عن دائرة إطلاق «شميت» أوكاشف مستوى *(Level detector)* . ثم يتم تجميع مخرج عناصر القياس الثلاثة ، للثلاثة أوجه ، على بوابة *OR (OR Gate)* ، والموضح فى شكل *(7-47)* ، ثم يغذى مخرج بوابة *"OR"* دائرة إستقرار التيار الإندفاعى ، وتكبر إشارة المخرج وتغذى عنصر المخرج أو العنصر المساعد *(Auxiliary element)*

ويعرف إستقرار التيار الإندفاعى *(Inrush stability)* بأنه النسبة بين قيمة الذروة لأقصى تيار مسموح به إلى التيار المقنن .

يعتمد تشغيل المتمم على العلاقة بين التيار الفرقى I_Δ *(Difference current)* وتيار الكبح I_H *(Restraining current)* والموضحة فى شكل *(7-48)* . ويحتوى المتمم على عنصرى ضبط هما :

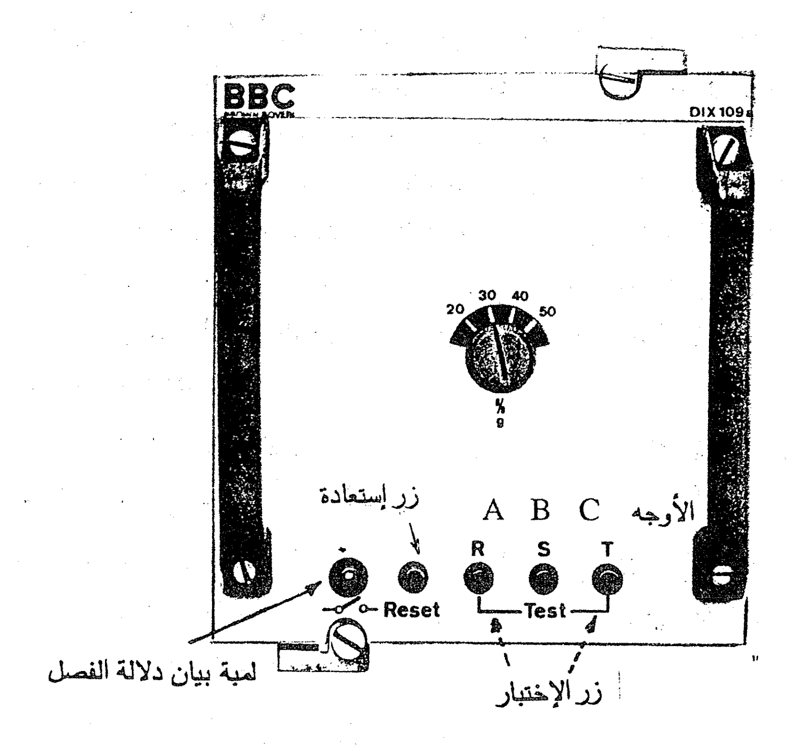
* عنصر الضبط الأساسى *(g) (Bias setting)*

ويعرف بأنه النسبة بين التيار الفرقى I_Δ إلى التيار المقنن I_N عندما يساوى تيار الكبح I_H صفراً ، ويتم ضبطه من واجهة المتمم ، ويمثل بالمقاومة e_g بشكل *(7-47)* (ويلاحظ أنه عند تغيير الضبط من واجهة المتمم فإن هذا يعنى تغيير قيمة المقاومة e_g للثلاثة أوجه) .

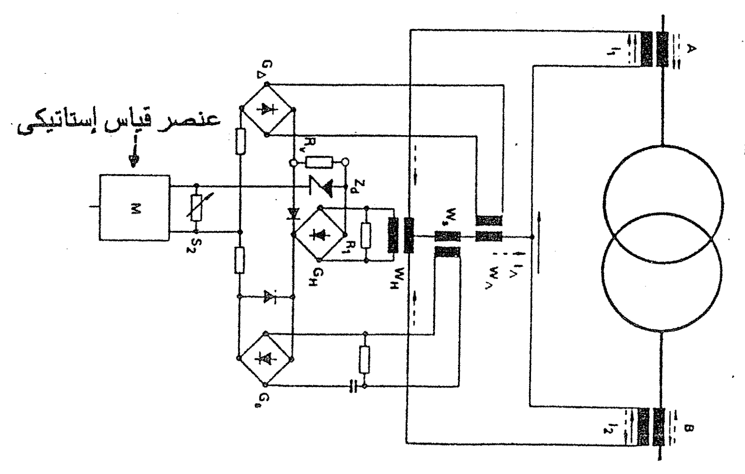
* عنصر الضبط لنسبة اللقط *Pick-up ratio (V)*

يعرف هذا العنصر تبعاً للمنحنيات الموضحة بشكل *(7-48)* ، والمقسمة على ثلاثة أقسام ، فمثلاً تعريف *(V)* بين المدى الأول والثانى أى عندما $I_H = I_N$, $I_H = 2\,I_N$ تبعاً للمعادلة :

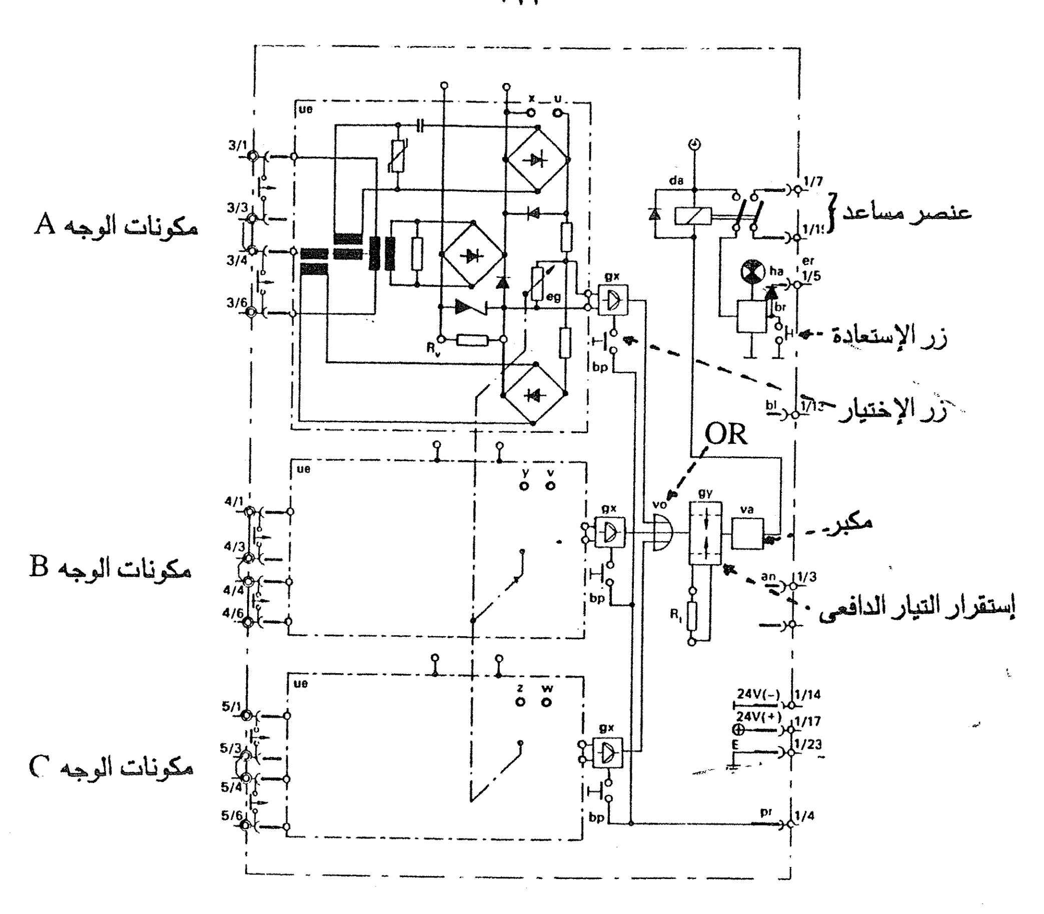
$$V = \frac{I_{\Delta 1} - I_{\Delta 2}}{2I_N - I_N}$$



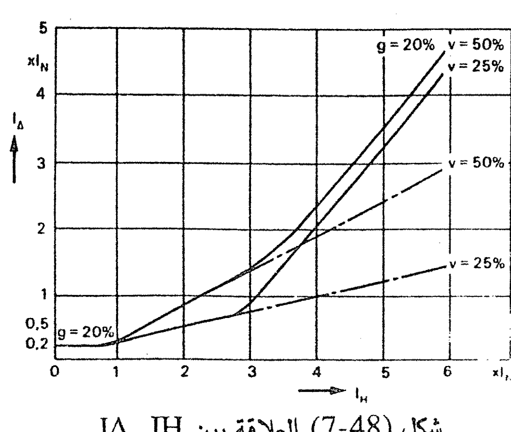
شكل (7-45) متمم وقاية تفاضلى استاتيكى



شكل (7-46) دائرة المتمم الموضح فى شكل (7-45)



شكل (7-47) مكونات المتمم الموضح فى شكل (7-45)



شكل (7-48) العلاقة بين IΔ , IH

حيث : $I_{\Delta 1}$: قيمة I_Δ عندما $I_H = I_N$

$I_{\Delta 2}$: قيمة I_Δ عندما $I_H = 2I_N$

ويتم ضبط قيمة V عن طريق المقاومة R_V بالشكل *(7-47)* ويكون الزمن الداخلى لإشتغال المتمم يساوى تقريباً *30* مللى ثانية .

ويبين شكل *(7-49)* ، مثالاً آخر صناعة ألمانى ، لمتمم وقاية تفاضلى إستاتيكى ، للتركيب على محول قدرة ذى ملفين ، لنظام ثلاثى الأوجه . والمتمم ذو حساسية عالية جداً ، ويعمل بكفائة عالية لجميع الأعطال داخل المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية ، وله إستقرار عالى للتوافقيات الناتجة من التيارات الإندفاعية .

كما يحتوى المتمم على ثلاثة عناصر قياس مستقلة ، عنصر لكل وجه ، تغذى بوابة *"OR"* ثم دائرة إطلاق «شميت» والتى تحتوى على دالتين : دالة الفصل *(Tripping)* ودالة مانع الفصل *(Blocking)* . كذلك يحتوى كل وجه على مرشح للتردد الأساسى (*50* هرتز) وآخر للتوافقية الثانية (*100* هرتز) . ويوضح شكل *(7-49)*أ تمثيل لتوصيل دوائر التيار الثانوية لمحولى التشغيل والكبح داخل المتمم ، بينما يوضح شكل *(7-49)*ب مكونات المتمم وتوصيلاته الخارجية مع محولات التيار الأساسية والمساعدة .

وعند حدوث عطل داخل المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن المتمم يخضع للعلاقات الآتية :

تيارالتشغيل بعد عملية التوحيد = $|\bar{I}_\Delta| = |\bar{I}_1| + |\bar{I}_2|$

تيار الكبح بعد عملية التوحيد = $|\bar{I}_H| = |\bar{I}_1 - \bar{I}_2|$

وفى حالة التغذية من جانب واحد ، فإن :

$$|\bar{I}_H| = |\bar{I}_\Delta|$$

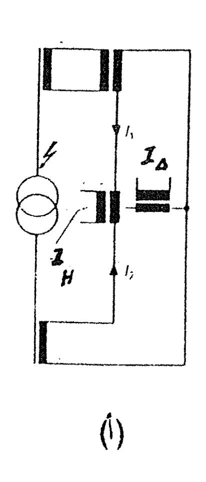
فى حالة التغذية من جانبى المحول فإن :

$$|\bar{I}_1| = |\bar{I}_2|$$

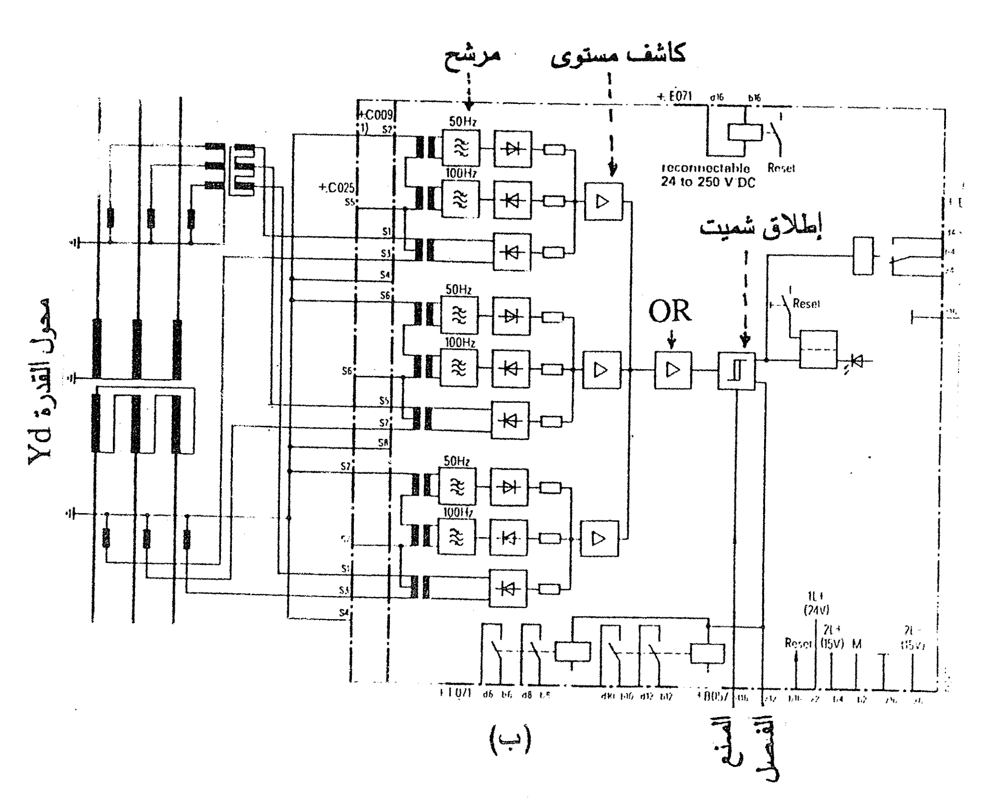
$$|\bar{I}_\Delta| = |2\bar{I}_1| = |2\bar{I}_2|$$

$$|\bar{I}_H| = 0$$

ويكون تيار الكبح مساوياً الصفر .



(أ)



(ب)

شكل (49-7) متمم وقاية تفاضلى استاتيكى

ولكن عند حدوث عطل خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن :

$$|\bar{I}_1| = -|\bar{I}_2|$$

$$|I_\Delta| = 0$$

$$|\bar{I}_H| = |2\bar{I}_1| = |2\bar{I}_2|$$

ويوضح شكل *(7-50)* نفس فكرة المتمم السابق ، ولكن للتركيب على محول قدرة ذى ثلاثة ملفات ، نظام ثلاثى الأوجه . حيث يغذى المتمم ، فى هذه الحالة ، بثلاثة تيارات I_1, I_2, I_3

عند حدوث عطل داخل المنطقة الواقعة فى مجال الوقاية ، فإن المتمم يخضع للعلاقات الآتية :

$|\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3| = |\bar{I}_\Delta| =$ تيارالتشغيل بعد عملية التوحيد

$|\bar{I}_1| + |\bar{I}_2| + |\bar{I}_3| = |\bar{I}_H| =$ تيار الكبح بعد عملية التوحيد

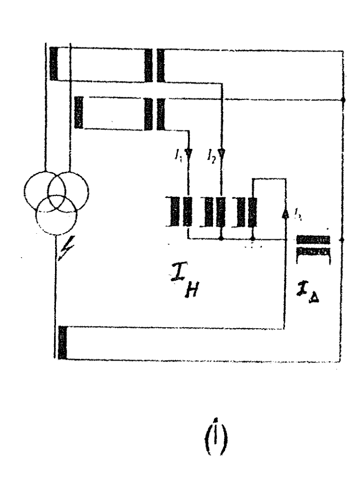
ويكون تيار التشغيل أكبر من تيار الكبح .

أما عند حدوث عطل خارج المنطقة الواقعة فى مجال الوقاية فإن :

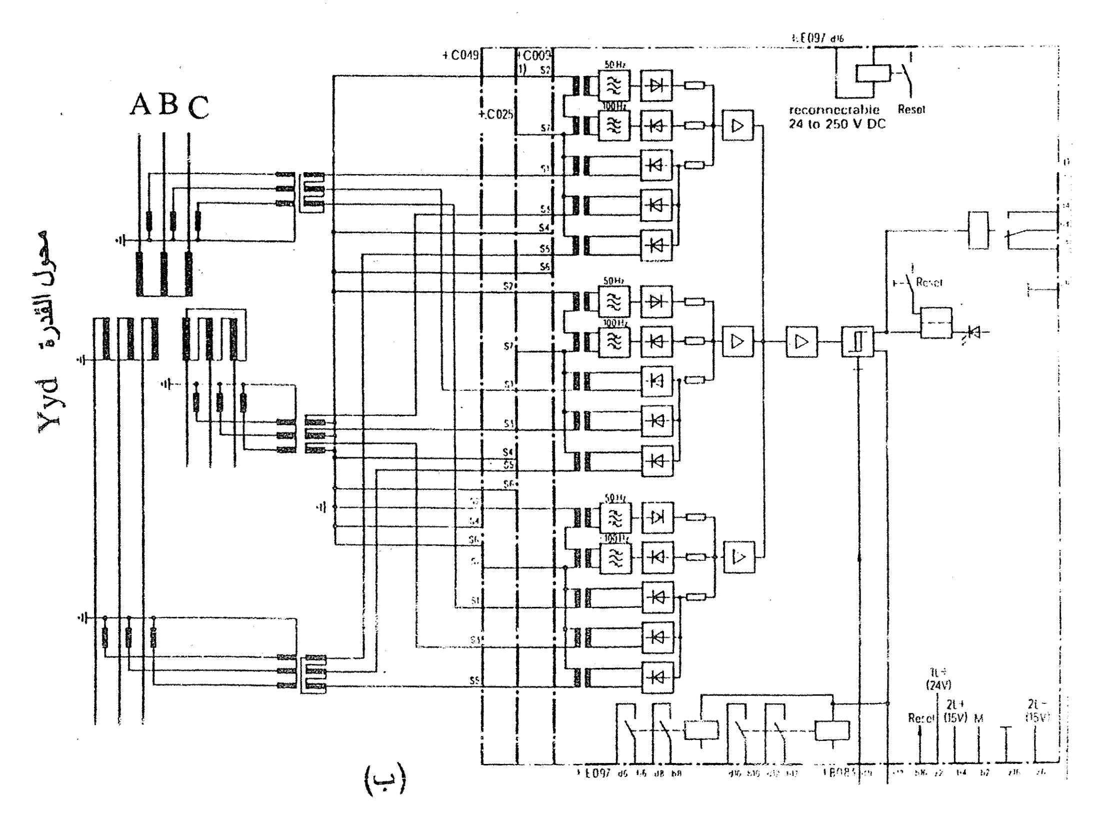
$$|\bar{I}_\Delta| = 0$$

$$|\bar{I}_H| = |\bar{I}_1| + |\bar{I}_2| + |\bar{I}_3|$$

ذكرنا فى طرق توصيل محولات التيار المستخدمة مع المتممات التفاضلية أننا نحتاج أحياناً إلى إضافة محولات تيار مساعدة لتصحيح نسبة محولات التيار الأساسية أو تصحيح زاوية إزاحة التيار أو الإثنين معاً ، بمعنى آخر أن نصل إلى أن يمر بملف التشغيل للمتمم تيار يساوى صفر فى حالة الأعطال خارج المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية . وفى الأمثلة السابقة يتم إضافة محولات تيار مساعدة عند الحاجة إليها . فيما يلى مثال لمتمم الحياز التفاضلى ، وهو يحتوى داخله على محولات تيار مساعدة يمكن التحكم فى نسبة تحويلها أو طريقة توصيلها (دلتا أو نجمة) حسب الحاجة وبذلك يتم توصيل المتمم على الدوائر الثانوية لمحولات التيار مباشرة وضبط محولات التيار المساعدة من واجهة المتمم ، ويوضح شكل *(7-51)*أ هذا المتمم وهو



(أ)



(ب)

شكل (7-50) متمم الوقاية التفاضلى الاستاتيكى

إنتاج سويسرى ، ويستخدم لوقاية محولات القدرة ذات الملفين ـ لنظام ثلاثى الأوجه. ويمثل شكل (7-51)ب توضيح للبيانات الأساسية على واجه المتمم ، بينما يوضح شكل (7-51)ج إحتواء المتمم على مجموعة محولات تيار مساعدة T_1 , T_2 توصل مباشرة مع محولات التيار الأساسية على جانبى محول القدرة .

كما تحتوى واجهة المتمم ، شكلى (7-51)أ،ب على :

* أربعة نقاط توصيل هم O , W_w , V_v , U_u يمكن عن طريقهم قياس التيار الفرقى I_Δ لكل وجه ، وذلك أثناء الإشتغال العادى للمتمم .
* ستة نقاط توصيل هم w , v , u , W , V , U لقياس تيار الكبح I_H لكل وجه ، وذلك أثناء الإشتغال العادى للمتمم .
* مفتاح (g) للضبط الأساسى (Basic setting) ويضبط تبعاً للجدول المجاور له .
* لمبتى بيان ، أحدهما لإعطاء دلالة «الفصل» ، والأخرى إعطاء دلالة «الكبح» .
* المفاتيح 2 , 1 لضبط نسبة التصحيح (Ratio connection) وهى I_N/I والموضحة فى الجدول أسفل واجهة المتمم ، كما فى شكل (7-51)أ .
* المفتاحان T_1 , T_2 لضبط نسبة محولات التيار المساعدة الداخلية .

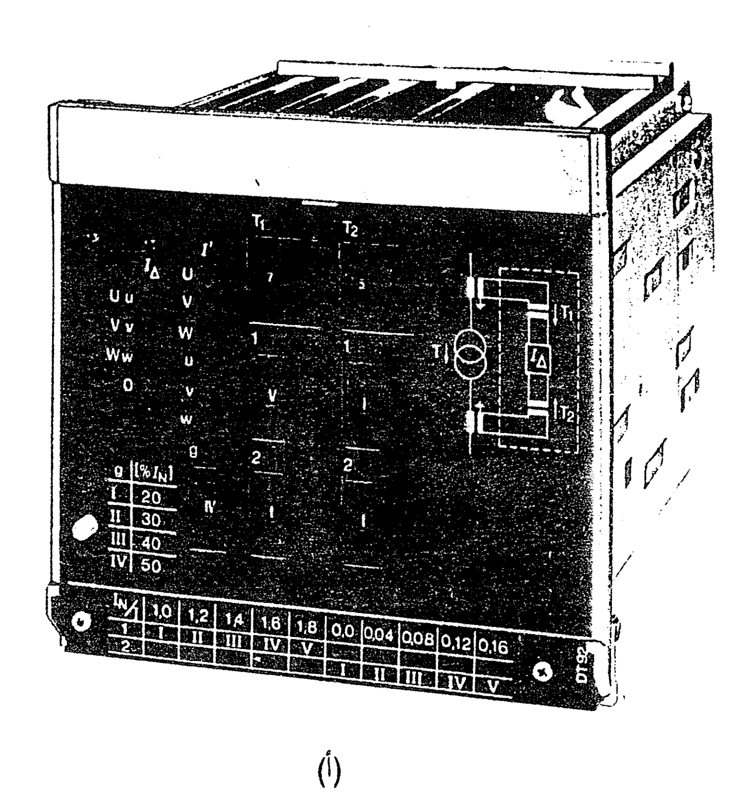
ويتكون المتمم من العناصر الأساسية الآتية ، والموضحة فى شكل (7-52)أ :

* محولات التيار المساعدة أومحولات المدخل .
* وحدة قياس الحياز ، وهى عبارة عن كاشف مستوى يعمل طبقاً للعلاقة بين التيارين I_H , I_Δ تبعاً للمنحنى الموضح بشكل (7-52)ب .
* عنصر الزمن والذى يخضع للقيم الآتية :

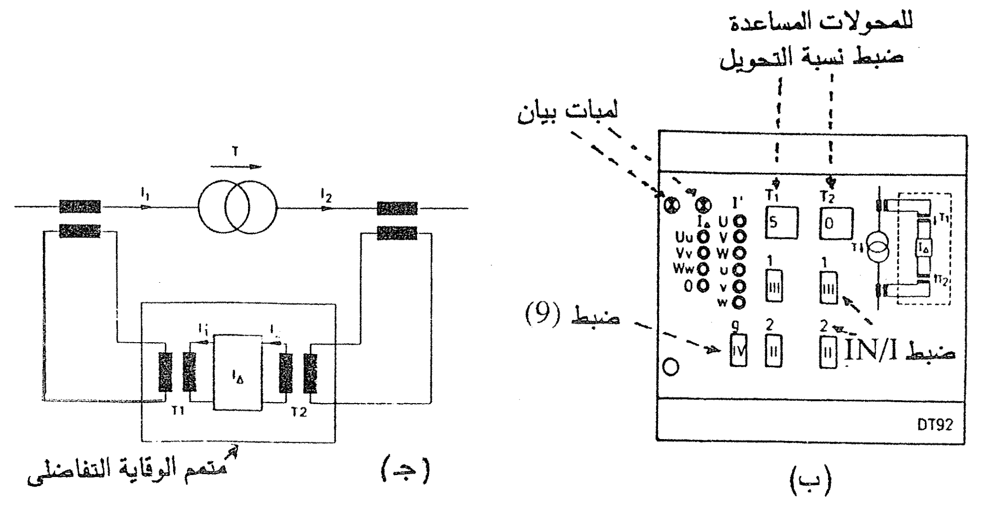
35 - 45 مللى ثانية لقيم التيار I_Δ حتى 1.8 من قيمة I_N

10 - 20 مللى ثانية لقيم التيار I_Δ أقل من 1.8 من قيمة I_N

* عنصر المخرج .
* لمبات بيان LED لإعطاء دلالة «الفصل» أو بيان «عدم الفصل» .
* مصدر جهد مساعد .

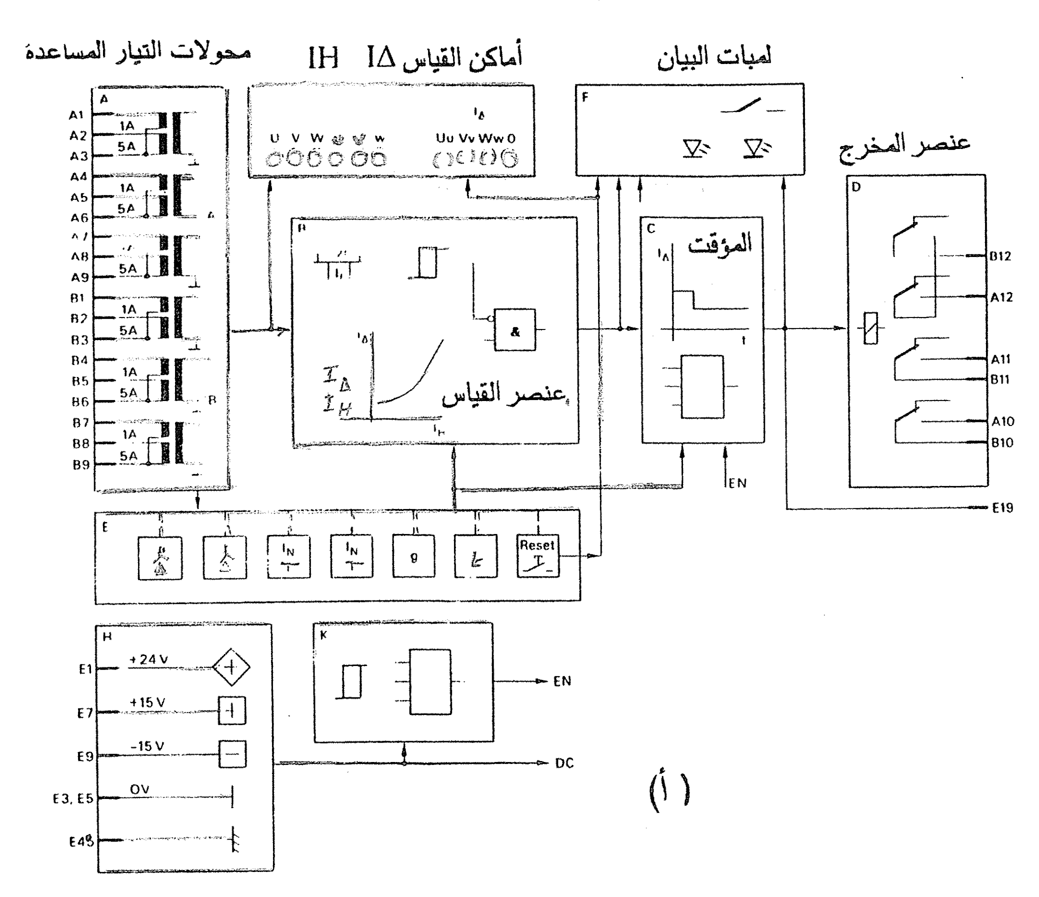


(أ)

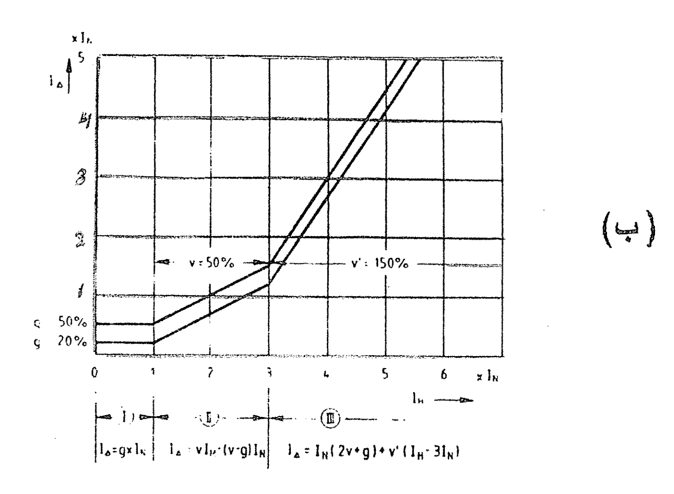


(جـ) (ب)

شكل (7-51) متمم الوقاية التفاضلى الاستاتيكى



(أ)



(ب)

شكل (7-52) المكونات الرئيسية للمتمم الموضح فى شكل أ 7-51

الباب الثامن
الوقاية ذات الدليل
PILOT PROTECTION

تستخدم المتممات ذات الدليل لوقاية خطوط الجهد العالى والفائق ذات الأطوال القصيرة (والتى لا يمكن إستخدام وقاية مسافية لها) . وتعتبر أحد أنواع الوقاية التفاضلية ، حيث يتم مقارنة التيارات عند نهايتى الخط عن طريق وسيلة أو دليل لنقل تيار أحد الجانبين للجانب الآخر والعكس بالعكس ، ومن هنا جاءت تسمية الوقاية ذات الدليل ويمكن أن يكون الدليل عبارة عن سلك *(Wire)* أو قناة إتصال *(Communication channel)* أو كابلات الياف البصريات *(Fiber Optic cables)* أو ....

تصنف المتممات ذات الدليل إلى النوعين الاتيين :

١) بإستخدام قناة إتصال *By Channel*

إذا كان الغرض نقل إشارة لفصل قاطع التيار فإن هذا النوع يعرف بنظام نقل الفصل *(Transfer trip system)* . وإذا كان الغرض منع فصل قاطع التيار فإن هذا النوع يعرف بنظام المانع *(Blocking system)* .

٢) بإستخدام كاشف الأعطال *By Fault detector*

إذا إعتمدت نظرية المتمم على إتجاه سريان القدرة فإن هذا النوع يعرف بمقارن الإتجاه *(Direction comparison)* . وبينما إذا إعتمد على وضع الزاوية النسبى *(Relative phase position)* فإنه يعرف بمقارن الزاوية *(Phase comparison)* .

وقد بدأ التفكير منذ عام ١٩٣٠ فى أنواع قنوات الإتصال التى يمكن إستخدامها مع المتممات ذات الدليل وتطورت هذه القنوات حتى أصبحت ذات موثوقية عالية جداً وأصبح العلم متقدماً جداً فى هذا الفرع .

وفيما يلى أنواع القنوات المستخدمة مع المتممات ذات الدليل :

1) أسلاك ذات الدليل *Pilot wire*

تستخدم لنقل : التيار المستمر *(D.C)* أو التيار المتردد *60 : 50* هرتز أو طنين ذو ترددات سمعية *(Audio frequency tones)* ، ويتم الإختيار والتفضيل بين هذه الأنواع حسب نوع المتمم والغرض من إستخدامه وأهمية المعدة المركب عليها . ويمكن إستخام سلك أو إستئجار خطوط التليفونات .

2) الموجات المحملة على خطوط القدرة *Power-line carrier* :

تستخدم خطوط الجهد العالى لنقل الإشارات اللاسلكية ذات الترددات بين *30-300* كيلو هرتز *KHz* .

3) الموجات الدقيقة *Microwaves*

تنقل الإشارات اللاسلكية ذات ترددات بين *2-12* جيجا هرتز *GHz* عن طريق مسارات خط البصر *(Line-of-sight or collimation)*

4) كابلات الألياف البصرية *Fiber optic cables*

تنقل الإشارات بفكرة تضمين الضوء *(Light modulation)* عن طريق كابلات غير موصلة كهربياً *(Electrical non-conducting cables)* . يمتاز هذا النوع بأنه يتغلب على مشاكل الضوضاء ـ والعزل الكهربى ـ والتأثير بالحث .

إن إستخدام الأسلاك ذات الدليل يكون إقتصادياً إذا كان طول الخط من 5 إلى *10* أميال علماً بأن إستخدام طريقة الموجات المحملة على خطوط القوى أكثر إقتصادياً ، بينما تستخدم طريقة الموجات الدقيقة عند الإحتياج لأكثر من قناة إتصال .

أولاً : متممات الأسلاك ذات الدليل *Pilot wire relaying*

تستخدم المتممات ذات الدليل لوقاية خط ، أى وقاية المنطقة المحمية بين محولى تيار على جانبى الخط ، فلماذا لا يستخدم متمم الوقاية التفاضلى (والذى يعمل بدوائر التيار الثانوى لمحولات التيار) والمستخدم لوقاية المحولات والمولدات والقضبان ..... لوقاية هذا الخط ؟

يرجع ذلك لعدة أسباب منها :

1) أن سعوية ومقاومة السلك تسبب إزاحة الزاوية وتنخفض قيمة التيار فى الجانب البعيد .
2) يمكن حدوث خطأ نتيجة التيارات التأثيرية بين السلك ذات الدليل والخط الأساسى أو عن طريق تدرج الجهد بالنسبة للأرضى خلال الأعطال الخارجية .
3) يمكن حدوث أخطاء نتيجة إختلاف درجة التشبع بين محولات التيار على جانبى الخط أو بين محولات التيارالأساسية ومحولات تيار التجميع على نفس الجانب للخط .
4) يمكن أن تقل حساسية المتمم عندما يصاحب تيار الحمل العادى الأعطال الداخلية (مثلاً حالة عطل بين الوجه والأرض) حيث أن الحمل يعتبر كحياز *(Bias)* .
5) عند تأجير الأسلاك ذات الدليل من هيئة التليفونات ، فإنه يعرض نظام الوقاية إلى مخاطر التشغيل نتيجة الفصل الدائم من هيئة التليفونات لعمل الصيانات الدورية على الأسلاك .
6) عند إستخدام محددات *(Limiters)* خلال دائرة الدليل ، وذلك للحد من الجهود العالية الناتجة من بعض أنواع الأعطال ، فإن هذا يسبب تغيير فى خصائص الوقاية .
7) تأثير تيار الشحن *(Charging current)* بين الأسلاك ذات الدليل .
8) هبوط الجهد الكبير فى الأسلاك ذات الدليل .

يستخدم عادة نظام الأسلاك ذات الدليل للخطوط القصيرة والتى لا تتعدى طول *30*كم ، ليس فقط بسبب التكاليف العالية للأسلاك فى المسافات الطويلة ولكن أيضاً بسبب السعوية الكبيرة للأسلاك والتى تمثل صعوبة عند التمييز بين حالة قصر أو فتح فى دائرة الأسلاك ذات الدليل ، لذلك فإن الغرض الأساسى هو التمييز بين الأعطال الخارجية والداخلية .

فكرة هذا النظام ، والموضحة فى شكل *(8-1)* هى تحويل مخرج الثلاثة أوجه لمحولات التيار على الجانبين إلى مخرج أحادى الوجه فى شكل جهد أوتيار بإستخدام المحول الجمعى *(Summation transformer)* أو دوائر التتابع *(Sequence networks)* .

يقارن جهد الوجه الواحد عند جانبى الخط بواسطة زوجين من القلب ذات الدليل *(Pilot core)* . تكون المقارنة عند كل جانب بين التيار من محولات التيار والتيار الدائرى بالدليل (وهذا ما يعرف بنظام التيار الدائر *Circulating current scheme*) أو بين الجهد خلال الأسلاك ذات الدليل (وهذا ما يعرف بنظام الجهد المضاد *Opposed voltage scheme*) . كما يمكن المقارنة بين الكميات فى القيمة أو الإتجاه.

ولن نتعرض فى هذا الفصل للمحول الجمعى أو لدوائر التتابع حيث أنها ذكرت بإيضاح فى الباب الأول بكتاب «الوقاية فى الشبكات الكهربائية ـ الجزء الأول» .

ويتكون النظام من متممى وقاية على جانبى الخط يربط بينهما سلك الدليل ، كل جهاز يحتوى على ملف تشغيل *(Operating coil)* وملف كبح *(Restraining coil)* ، ويطلق على هذا النظام متممات سلك الدليل ذى التيار المتردد *(A.C. Wire-pilot relaying)* . ويصنف إلى نوعين هما :

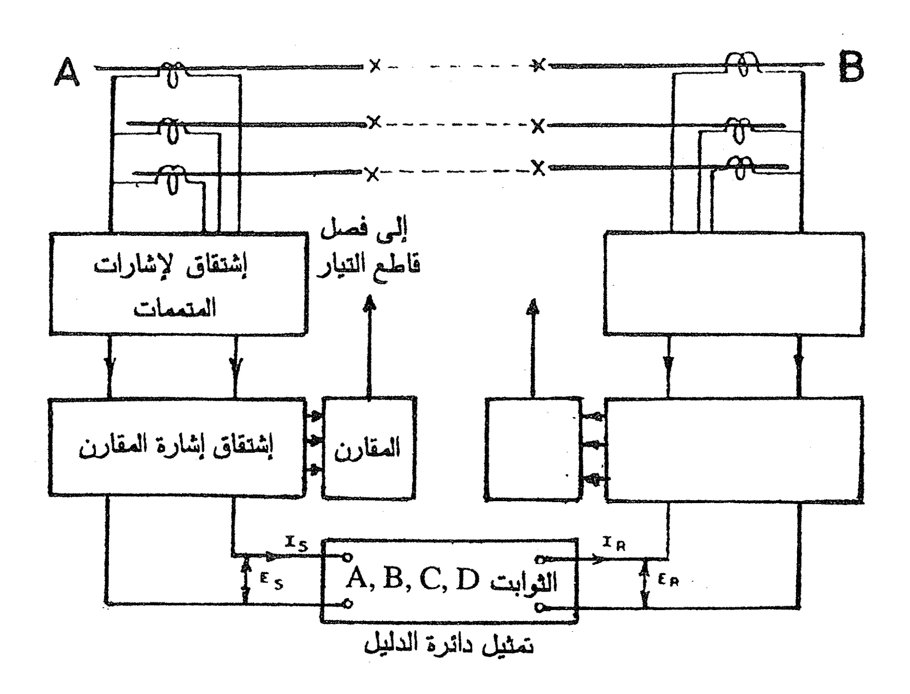
* نظام التيار الدائر *Circulating current scheme*
* نظام الجهد المضاد *Opposed voltage scheme*

وفيما يلى توضيح لكل نوع :

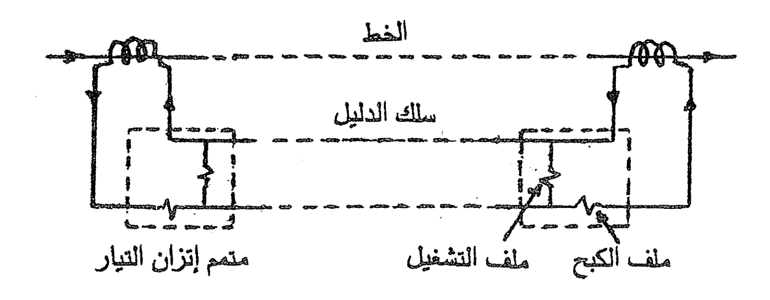
١) نظام التيار الدائر *Circulating Current Scheme*

يوضح شكل *(8-2)* فكرة النظام ، والذى يتكون من متممى إتزان التيار *(Current-balance relay)* وبينهما سلكى دليل ، وكل متمم يتكون من ملف تشغيل وملف كبح يتم توصيلهم كما فى شكل *(8-2)* وفى هذه الحالة يتم مقارنة قيمة تيارات التشغيل والكبح . وبإهمال معاوقة سلكى الدليل ، فإنه عند التحميل العادى أو عند حدوث عطل خارجى ، كما فى شكل *(8-3)*أ فإن التيار يمر دائرياً فى سلك التعادل ولا يمر فى متممى الوقاية على الجانبين وذلك لتساوى التيار الناتج من محولات التيار على الجانبين فى متممى الوقاية .

بينما عند حدوث عطل داخلى ، كما فى شكلى *(8-3)*ب،ج فإن التيار يمر فى متممى الوقاية سواء كانت التغذية من جانب واحد كما فى شكل *(8-3)*ب ، أو من الجانبين كما فى شكل *(8-3)*ج .



شكل (8-1) فكرة نظام الوقاية ذات الدليل



شكل (8-2) فكرة نظام التيار الدائر

عادة لا يمكن إهمال معاوقة الأسلاك ذات الدليل ، ويأخذ حالة عطل خارجى ، كما فى شكل (8-3)د ، ومن توزيع التيارات مع فرض توزيع التيار بين ملف المتمم والسلك ذات الدليل ، على كل جانب ، بنسبة 3 : 1 فإنه يمر تيار فى ملف التشغيل مسبباً التشغيل الخاطئ للمتمم ، وللتغلب على ذلك يجب ضبط معاوقة ملف التشغيل بما يتناسب مع السلك ذات الدليل .

وإذا كانت معاوقة ملف التشغيل مساوية لمعاوقة السلك ذات الدليل فإن التيار يقسم بالتساوى بينهما . ويمكن وضع ملفات الكبح جهة محولات التيار أو جهة السلك ذات الدليل ، كما فى شكل (8-4)أ،ب . ويفضل فى حالة الخطوط القصيرة أن تكون ملفات الكبح جهة السلك ذات الدليل ، بينما إذا كانت الخطوط طويلة فإنه يفضل أن تكون ملفات الكبح جهة محولات التيار .

يجب مراعاة أنه عند حدوث عطل على الأسلاك ذات الدليل تتسبب فى إشتغال خاطئ للمتممات ، كذلك فإن حدوث فتح أو إنعكاس فى السلك ذات الدليل أثناء التحميل العادى أو عطل خارجى فإن المتممات تفصل قواطع التيار ، بينما حدوث دائرة القصر تمنع الفصل وفى وجود عطل حقيقى على النظام .

بالرجوع الى الشكل (8-4)أ ، فإن تيارى التشغيل والكبح عند المتمم على الجانب (A) يكونا :

$$I_O = \frac{I_A}{2} - \frac{\gamma I_B}{2}$$

$$I_R = I_A$$

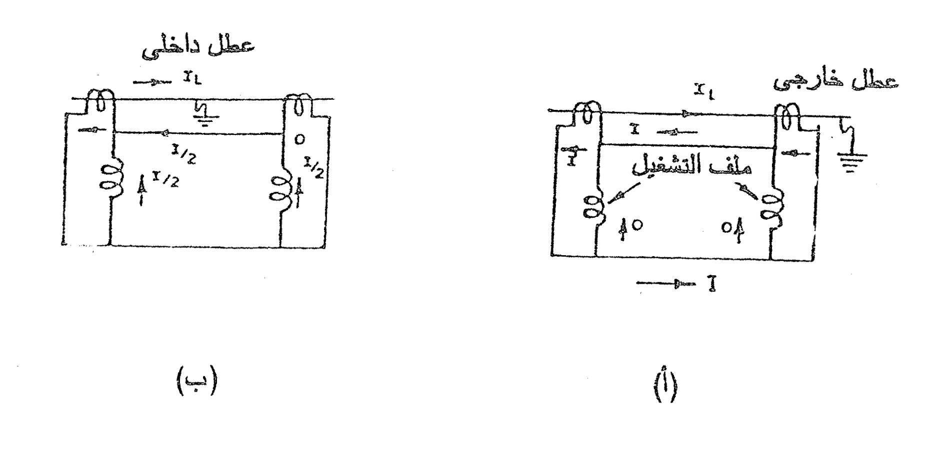
$$\gamma = e^{al}$$

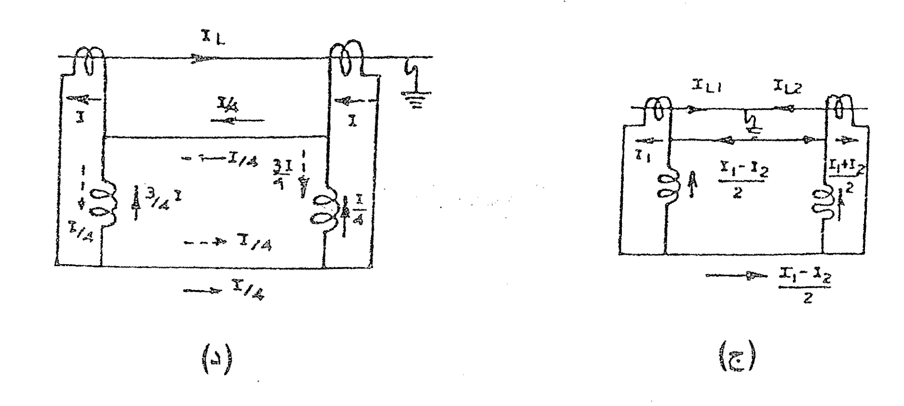
حيث a = ثابت الإنتشار (Propagation constant)

l = طول الخط .

بفرض أن المتمم يعمل بفكرة مقارن القيمة ، فإن حالة تشغيل البداية تخضع للعلاقة :

$$N_O I_O = N_R I_R$$





شكل (3-8) توزيع التيار لنظام التيار الدائر

حيث : N_R = عدد لفات ملف الكبح .

N_O = عدد لفات ملف التشغيل .

وبتطبيق حالة بدء التشغيل عند المتمم على الجانب A فإن :

$$\frac{1}{2}\,|I_A - \gamma I_B| = \frac{1}{2}\,K\,|I_A| \longrightarrow (8\text{-}1)$$

بينما عند المتمم على الجانب B فإن حالة بداية التشغيل تكون :

$$\frac{1}{2}\,|I_B - \gamma I_A| = \frac{1}{2}\,K\,|I_B| \longrightarrow (8\text{-}2)$$

حيث :

$$K = 2\,\frac{N_R}{N_O}$$

وبالرجوع إلى شكل (8-4)ب فإن تيارى التشغيل والكبح للمتمم على الجانب A يكونا :

$$I_O = \frac{1}{2}(I_A - \gamma I_B)$$

$$I_R = \frac{1}{2}(I_A + \gamma I_B)$$

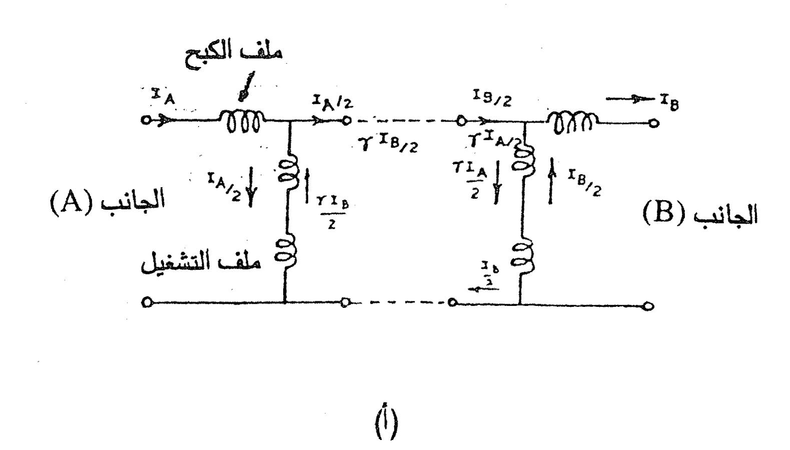
وعلى الجانب B يكون تيارى التشغيل والكبح للمتمم :

$$I_O = \frac{1}{2}(I_B - \gamma I_A)$$

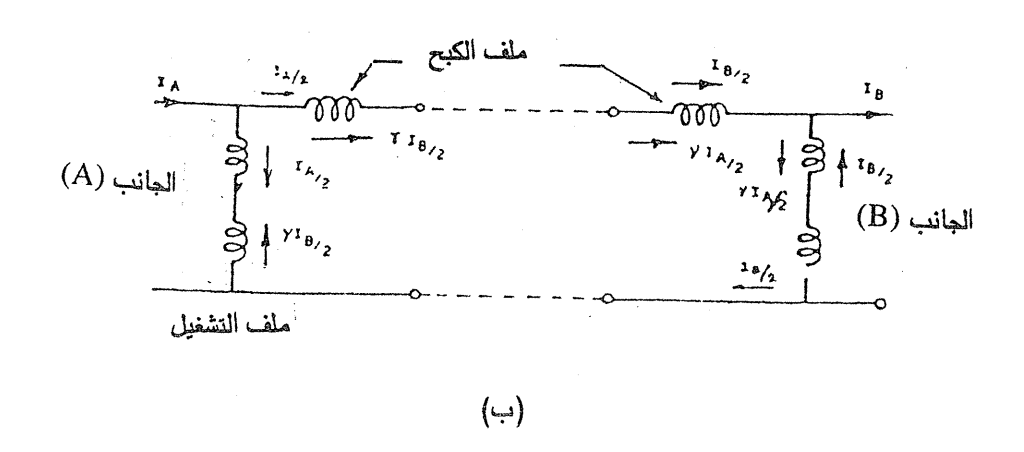
$$I_R = \frac{1}{2}(I_B + \gamma I_A)$$

وتكون حالة بداية التشغيل عند الجانب A :

$$|I_A - \gamma I_B| = K\,|I_A + \gamma I_B|$$



(أ)



(ب)

شكل (4-8) موضع ملف الكبح

وعند الجانب B

$$|I_B - \gamma I_A| = K|I_B + \gamma I_A|$$

ويوضح شكل *(8-5)* مثالاً عملياً لنظام التيار الدائر والذى يتكون من متممى وقاية إتجاهى من النوع ذى المغناطيس الدائم المستقطب *(Permanent magnet polarized directional relay)* والذى يعمل بالتيار المستمر *(D.C)* ويتكون المتمم من ملفى التشغيل والكبح والذين يغذيان من قنطرتى توحيد . يعتمد تشغيل المتمم بالكامل على تيارات الأوجه والأرضى المارة بالخط والتى تغذى دائرة المركبات التتابعية *(Sequence network)* ونحصل منها على مخرج جهد بدلالة مركبات التياركالآتى :

$$V_F = K_1 I_1 + K_2 I_2 + K_O I_O$$

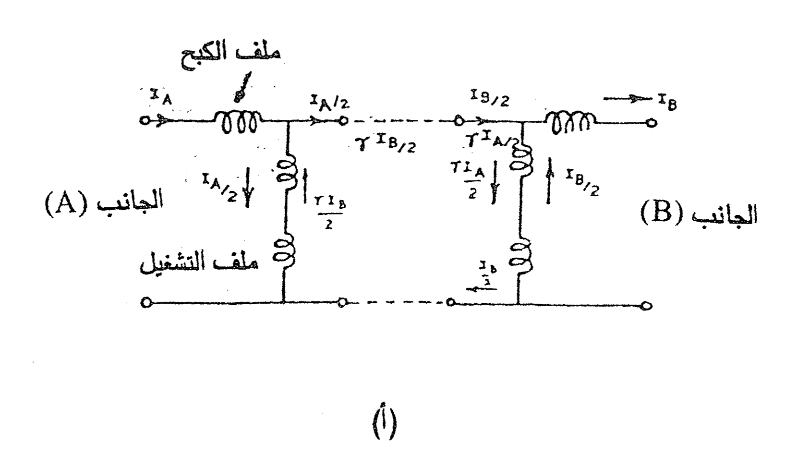
حيث : I_1, I_2, I_O : مركبات التتابعية الموجبة والسالبة والصفرية لتيارات الأوجه I_a, I_b, I_c .

K_1, K_2, K_O : ثوابت الدائرة .

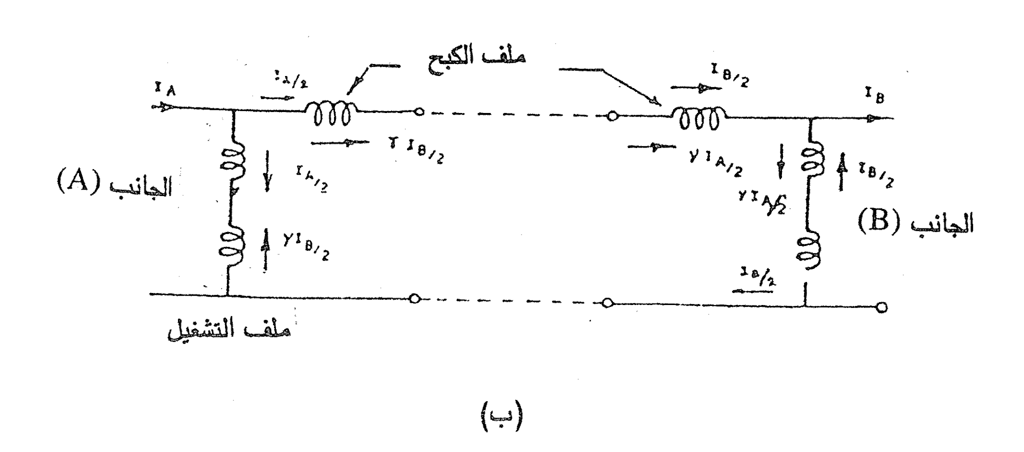
منذ عدة سنوات كانت تستخدم مركبتى التتابعية الموجبة والصفرية فقط للحصول على الجهد V_F إعتماداً على أن جميع الأعطال يمكن تحويلها بدلالة المركبة الموجبة وتضاف مركبة التتابعية الصفرية عند حدوث أعطال أرضية ولكن حالياً تستخدم المعادلة السابقة . ويغذى هذا الجهد محول التشبع *(Saturating Transformer)* والذى يحدد قيمة جهد المخرج بحوالى *10* ڤولت أى أن المخرج لا يعتمد على قيمة تيارات القصر ولكنه يحدد بقيمة ثابتة تقريباً .

وتستخدم محولات عزل *(Insulating transformers)* بين المتمم وأسلاك الدليل ، و تكون نسبة التحويل *1 : 4* أو *1 : 6* محدداً أقصى جهد يتحمله سلك الدليل بحوالى *60* أو *90* ڤولت . وعلى ذلك فعند حدوث قصر خارجى ، كما فى شكل *(8-6)* فإنه يمر تيار دائر فى السلكى ذى الدليل وملفى الكبح ، للمتممين على الجانبين ، بينما يمر تيار صغير جداً بملف التشغيل ، وعلى ذلك فإن مرور التيار بملفى الكبح يمنع إشتغال المتمم على الجانبين . وهى نفس حالة المتمم عند التحميل العادى للخط .

وعند حدوث قصر داخلى ، أى على الخط ، كما فى شكل *(8-7)* فإن التيار يمر



(أ)



(ب)

شكل (4-8) موضع ملف الكبح

وعند الجانب B

$$|I_B - \gamma I_A| = K|I_B + \gamma I_A|$$

ويوضح شكل *(8-5)* مثالاً عملياً لنظام التيار الدائر والذى يتكون من متممى وقاية إتجاهى من النوع ذى المغناطيس الدائم المستقطب *(Permanent magnet polarized directional relay)* والذى يعمل بالتيار المستمر *(D.C)* ويتكون المتمم من ملفى التشغيل والكبح والذين يغذيان من قنطرتى توحيد . يعتمد تشغيل المتمم بالكامل على تيارات الأوجه والأرضى المارة بالخط والتى تغذى دائرة المركبات التتابعية *(Sequence network)* ونحصل منها على مخرج جهد بدلالة مركبات التياركالآتى :

$$V_F = K_1 I_1 + K_2 I_2 + K_O I_O$$

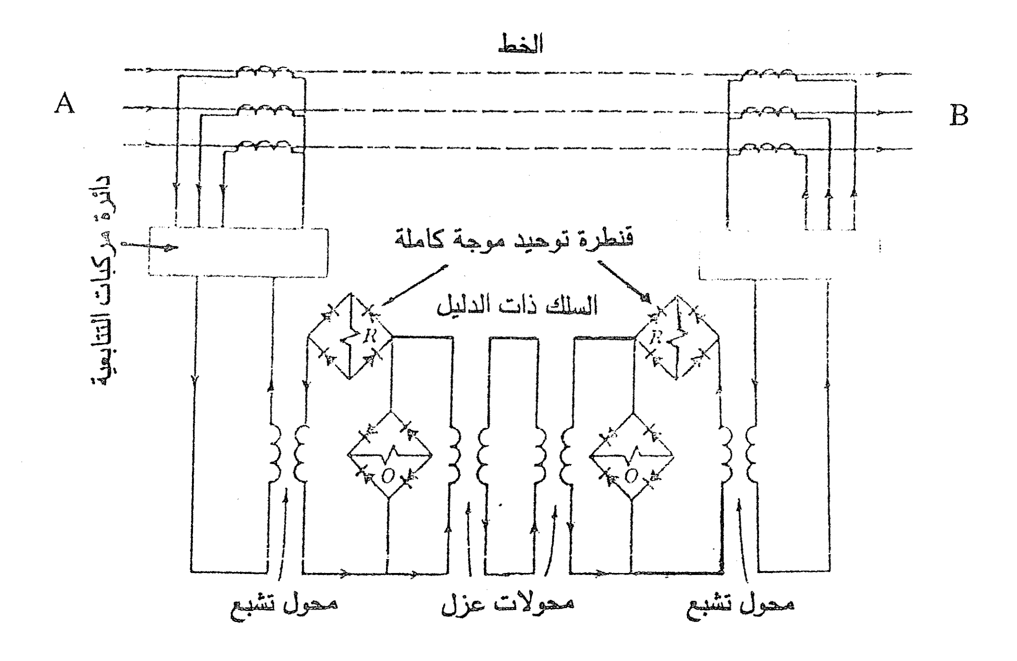
حيث : I_1, I_2, I_O : مركبات التتابعية الموجبة والسالبة والصفرية لتيارات الأوجه I_a, I_b, I_c .

K_1, K_2, K_O : ثوابت الدائرة .

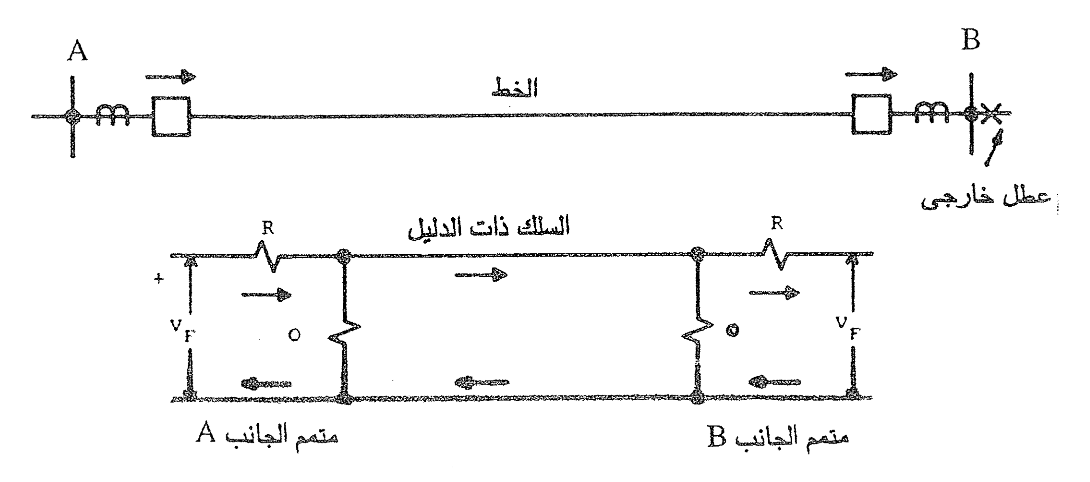
منذ عدة سنوات كانت تستخدم مركبتى التتابعية الموجبة والصفرية فقط للحصول على الجهد V_F إعتماداً على أن جميع الأعطال يمكن تحويلها بدلالة المركبة الموجبة وتضاف مركبة التتابعية الصفرية عند حدوث أعطال أرضية ولكن حالياً تستخدم المعادلة السابقة . ويغذى هذا الجهد محول التشبع *(Saturating Transformer)* والذى يحدد قيمة جهد المخرج بحوالى *10* ڤولت أى أن المخرج لا يعتمد على قيمة تيارات القصر ولكنه يحدد بقيمة ثابتة تقريباً .

وتستخدم محولات عزل *(Insulating transformers)* بين المتمم وأسلاك الدليل ، و تكون نسبة التحويل *1 : 4* أو *1 : 6* محدداً أقصى جهد يتحمله سلك الدليل بحوالى *60* أو *90* ڤولت . وعلى ذلك فعند حدوث قصر خارجى ، كما فى شكل *(8-6)* فإنه يمر تيار دائر فى السلكى ذى الدليل وملفى الكبح ، للمتممين على الجانبين ، بينما يمر تيار صغير جداً بملف التشغيل ، وعلى ذلك فإن مرور التيار بملفى الكبح يمنع إشتغال المتمم على الجانبين . وهى نفس حالة المتمم عند التحميل العادى للخط .

وعند حدوث قصر داخلى ، أى على الخط ، كما فى شكل *(8-7)* فإن التيار يمر



شكل (5-8) نظام التيار الدائر



شكل (6-8) حالة حدوث قصر خارجى

بملف الكبح وملف التشغيل للمتممين على الجانبين ويمكن أن يمر تيار صغير جداً فى السلك ذى الدليل ويتغلب تيار التشغيل على تيار الكبح مؤدياً إلى إشتغال المتممين وفصل قاطع التيار على الجانبين .

2) **نظام الجهد المضاد** *Opposed Voltage Scheme*

يعنى هذا النظام أنه لا تمر تيارات دائرية خلال سلك الدليل ويستخدم متمم إتزان التيار *(Current balance)* على جانبى الخط مع ملاحظة توصيل ملفى التشغيل كما فى شكل *(8-8)* . حيث يتم تغيير التيار المار على جانبى الخط إلى جهد من خلال محول ذى ثغرة هوائية والذى يعرف بالمعاوقة المستبدلة *(Replica Impedance)* أو *(Transactor)* يعكس جهد المخرج لهذا المحول خلال حالات التشغيل العادية أو فى حالة حدوث عطل خارجى وبالتالى لا يمر تيار خلال السلك ذات الدليل فيما عدا قيمة تيار الشحنة السعوية والتى غالباً ما تهمل . وعند حدوث عطل داخلى ، تكون الجهود فى إتفاق وجهى *(In phase)* تقريباً ، ويمر التيار بالسلك ذات الدليل وملفات التشغيل للمتممات ، والتى تكون متصلة على التوالى مع السلك ذات الدليل ، كما فى شكل *(8-9)* يقارن المتمم بين تيار التشغيل I_O وتيار الكبح I_R من حيث القيمة بحيث تكون حالة التشغيل عندما :

$$N_O I_O \geq N_R I_R$$

أو

$$/I_O/ \geq K/I_R/$$

حيث :

$$K = \frac{N_R}{N_O}$$

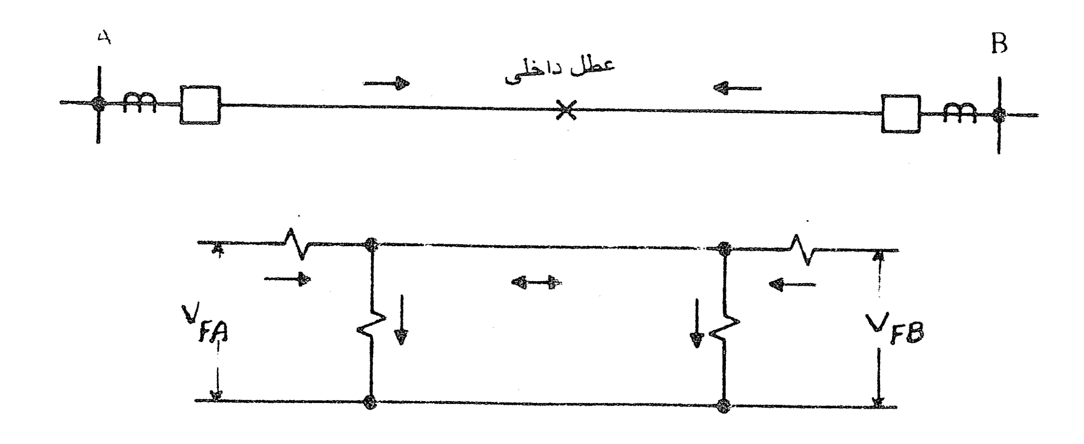
للمتمم على الجانب A يتناسب التيار مع الجهد كالتالى :

تيار التشغيل $\quad I_O \;\alpha\; (V_A - \gamma V_B)$

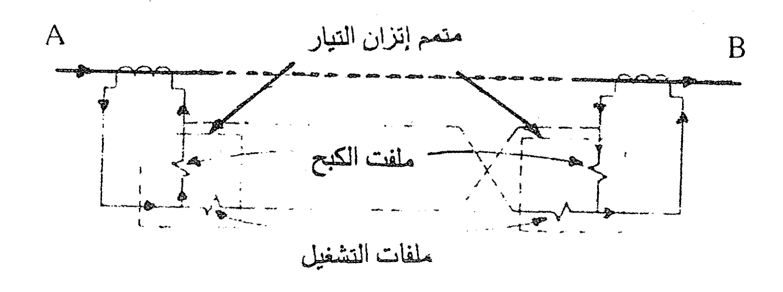
تيار الكبح $\quad I_R \;\alpha\; V_A$

وتكون حالة الإتزان للمتمم على الجانب A هى :

$$/I_A - \gamma I_B/ = K/I_A/ \longrightarrow (8\text{-}3)$$



شكل (8-7) حالة حدوث قصر داخلى



شكل (8-8) فكرة نظام الجهد المضاد

وتكون حالة الإتزان للمتمم على الجانب B هى :

$$|I_B - \gamma I_A| = K|I_B| \longrightarrow (8\text{-}4)$$

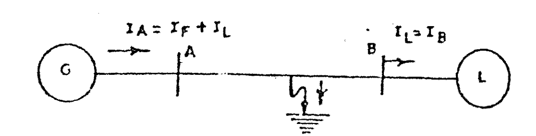
وتكون المعادلتين *(8-4)* , *(8-3)* متماثلتين للمعادلتين *(8-2)* , *(8-1)* فى حالة نظام التيار الدائر عندما كان ملف الكبح على جانب محول التيار .

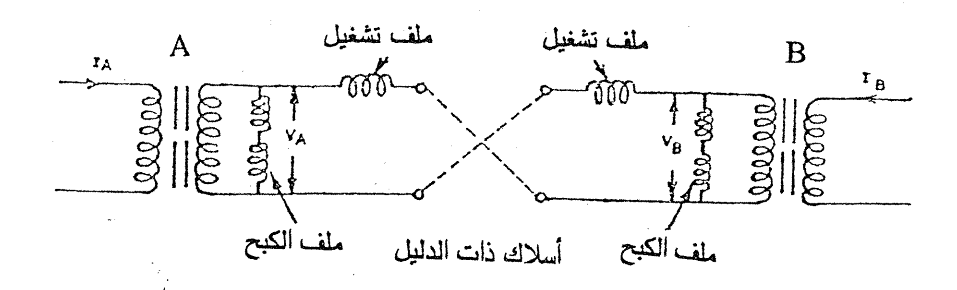
ويوضح شكل *(8-10)* مثالاً لمكونات نظام الجهد المضاد ، وهذا المتمم من النوع الإتجاهى للتيار المتردد *(A.C Directional type relay)* ومركب على جانبى الخط، ويكون العنصر الإتجاهى للمتممين متضادين . ويحتوى النظام على محول خلط *(Mixing transformer)* نحصل منه على مخرج كمية واحدة لجميع حالات الأعطال .

يمتاز تشبع محول الخلط بأنه يحد قيمة جذر متوسط المربعات *(rms)* للجهد المسلط على سلك الدليل . وتكون قيمة معاوقة الدائرة المتصلة على محول الخلط صغيرة بما يكفى للحد من قيمة جهود الذروة للقيم المسموحة .

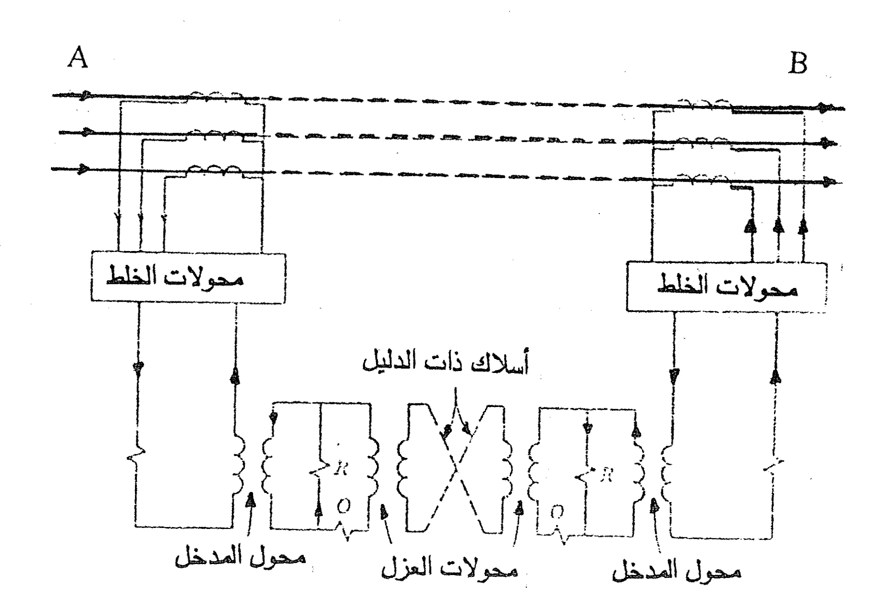
وبذلك فإن أقصى مقاومة لسلكى التعادل *2000* أوم وفى حالات خاصة يمكن أن تصل إلى *3500* أوم . وإذا كانت مقاومة سلكى التعادل أقل من هذه القيم فإنها تضبط عند القيم *2000* أو *3500* أوم عن طريق إضافة مقاومة مواءمة *(Padding resistor)* على أى من الجانبين .

يوضح شكل *(8-11)* مثالاً لنظام الجهد المضاد مناسباً للتركيب مع سلكى ذى دليل مقاومته *3500* أوم *(Loop resistance)* والسعوية الداخلية *2.5* ميكروفاراد . علماً بأن محولات الجمع *(Summation transformers)* معزولة حتى *15* ك.ف ويتحدد جهد مخرجها عن طريق مقاومة غير خطية *(Non-linear resistor)* . ويحتوى متمم الملف المتحرك *(Moving coil relay)* على ملفين يمدهما بالطاقة تيار وجهد سلك التعادل . ثم يوحد التيار والجهد من خلال قنطرتى توحيد . يمكن إضافة مقاومة كابح *(Restraint resistor)* وملف توليف *(Tuning reactor)* للحصول على حساسية أفضل ، ويحتوى المتمم أيضاً على ثلاثة عناصر بداية *(Starting)* ، على وجهين وخط التعادل ، ولهم عامل إستعادة *(Reset Factor)* مرتفع ، تستخدم نقط تلامسها على التوازى مع ملف التشغيل حيث تتحمل نقط التلامس لعنصر البداية وعنصر





شكل (8-9) حالة حدوث قصر داخلى



شكل (8-10) مكونات نظام الجهد المضاد

الملف المتحرك 15 ك.ف .

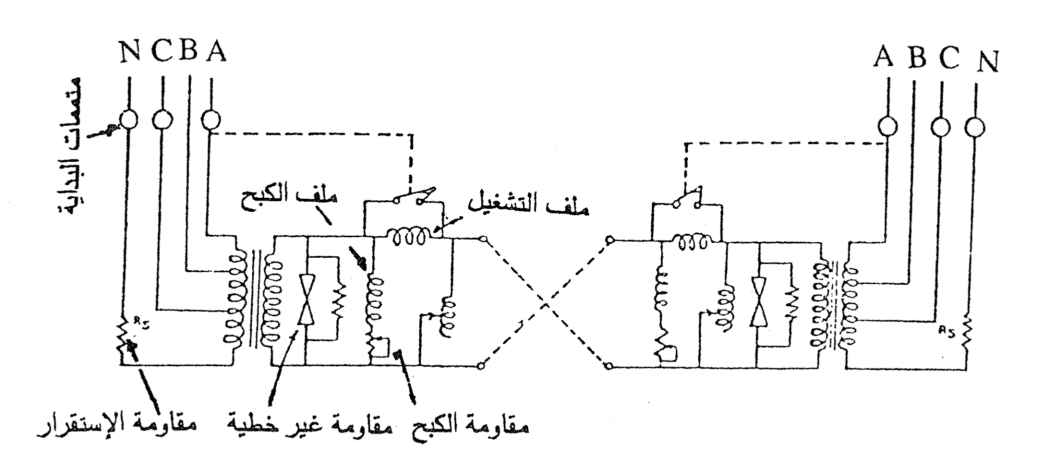
ويوضح شكل (8-12) نوع آخر لنظام الجهد المضاد بإستخدام طريقة تعويض دائرة القنطرة (Bridge circuit compensation method) . أيضاً تتحمل المعدات جهد عزل حتى 15 ك.ف . حيث يتم ضبط المتمم من خلال مقاومتين متغيرتين هما: R_1 للتحكم فى القيمة ، R_2 للتحكم فى زاوية إشارة التعويض المستخدمة .

وبإعتبار خاصية المتمم عبارة عن دائرة فإن مركزها يتحدد عن طريق التحكم فى المقاومتين R_1 , R_2 بينما نحصل على نصف القطر بتغير مقاومة الكبح (Restrain resistor) . فى هذا النوع استخدم مقارن القيمة من نوع قنطرة التوحيد ويمكن إستخدام أى نوع آخر استاتيكى .

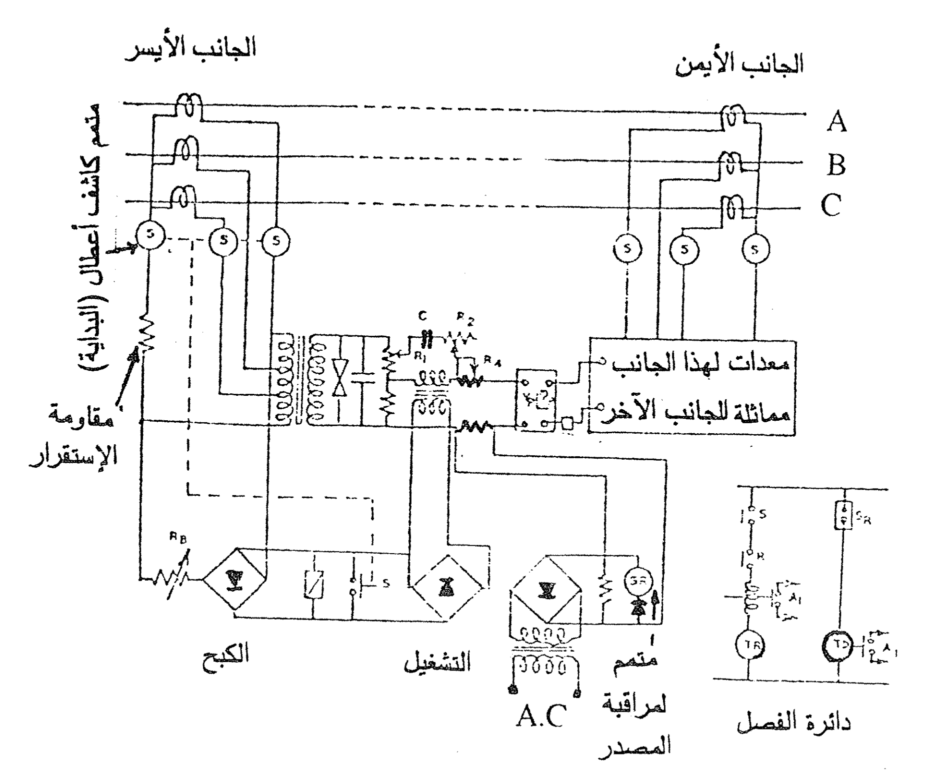
ويوضح شكل (8-13) مثالاً لنظام التيار الدائر عندما تكون مقاومة سلكى الدليل مرتفعة . وتوجد مقاومة R_A ، على كل جانب ، لها قيمة أكبر قليلاً من مقاومة سلكى الدليل R_P . وموصل على التوازى مع المقاومة R_A موحد تيار .

ويحتوى المتمم على عناصر بداية تعمل فى جميع حالات الأعطال ، ذات ضبطين أحدهما ذو قيمة ضبط عالية (High set) والأخرى ذات ضبط منخفض (Low set) تتصل نقط تلامس عنصر البداية ذى الضبط المنخفض على التوازى مع سلكى الدليل ، لكلا الجانبين ، وعن طريق هذا العنصر يتم ضبط الإشتغال عند حدوث عطل على جانب واحد مستقلاً عن حالة الحمل . بينما تتصل نقط تلامس عنصر البداية ذى الضبط العالى خلال دائرة التحكم للمحول ذى الثغرة الهوائية (Transductor) عند حدوث قصر خارجى ، كما فى شكل (8-13) ب ، تكون $R_A > R_P$ والتى تؤدى إلى أن كل من المتممين يصبحا مستقطبين (Polarized) نتيجة الجهد المعكوس والتى تؤثر على إستقرار المتمم وخاصة عند الأخذ فى الإعتبار الأخطاء العابرة (Transient errors) فى محولات التيار .

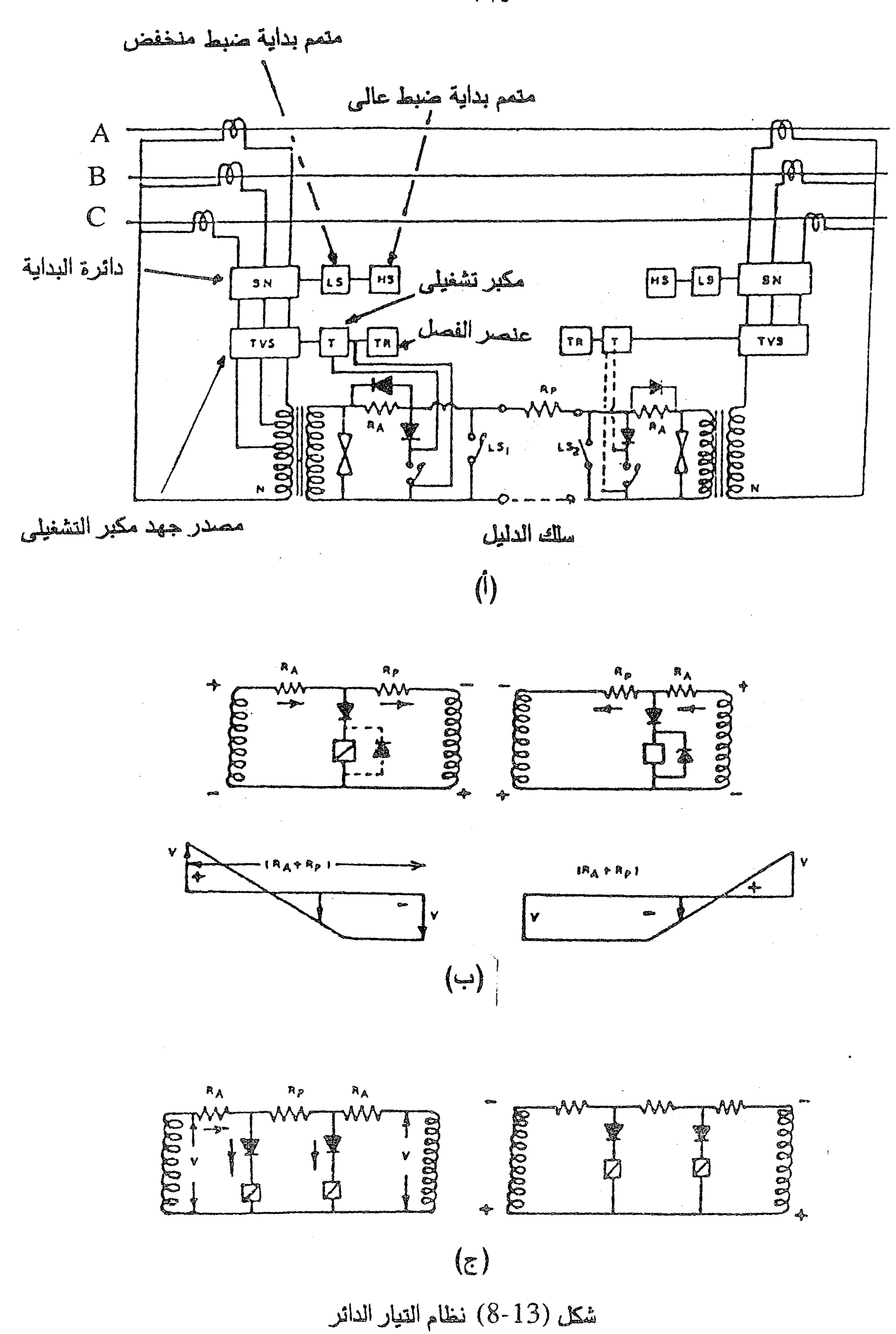
عند حدوث قصر داخلى ، كما فى شكل (8-13) ج ، (يتغذى العطل من الجانبين) ينعكس إتجاه التيارات الثانوية محدثاً جهد موجب على أطراف المتمم فى النصف دورة الأولى ثم يكون صفر فى النصف دورة التالية . ويتميز إستخدام عنصر البداية بأنه يتغلب على الفصل الخاطئ للمتممين على الجانبين عند حدوث قصر داخلى والتغذية من جانب واحد ويوحد التيار بالمتمم عن طريق موحد نصف موجة



شكل (8-11) مثال لنظام الجهد المضاد



شكل (8-12) مثال لنظام الجهد المضاد



شكل (13-8) نظام التيار الدائر

« الوقاية ـ ٢ »

والذى يغذى ملف التحكم بالمحول ذى الثغرة الهوائية *(Transductor)* . يكون للمحول ذى الثغرة الهوائية كسب قدرة *(Power gain)* كافى للتغلب على المشاكل الأساسية لتحديد القدرة فى أسلاك الدليل .

ثانياً : الموجات المحملة على خطوط القدرة *Power Line Carrier*

فى عام *1935* على وجه التقريب ، بدأت تظهر مشاكل فى متممات الوقاية المسافية المركبة على الخطوط الطويلة ذات الجهود العالية والفائقة وخاصة المطبق بها نظام إعادة التوصيل التلقائى لقواطع التيار *(Auto-reclosure type breakers)*، حيث يعتمد زمن عزل العطل بمتممات الوقاية المسافية على بعد العطل عن القاطع والمتمثل فى التدريج الزمنى *(Stepped time)* ، بمعنى آخر أن قاطعى التيار يفصلا معاً فى حالة ما إذا كان العطل فى منتصف الخط وبإختلاف زمنى تبعاً للتدرج الزمنى ومكان العطل لباقى الأعطال ، ولكن يشترط فى حالة إستخدام نظام إعادة التوصيل التلقائى لقواطع التيار أن يفصل القاطعين على جانبى الخط معاً فى نفس الوقت وذلك لإعطاء الزمن الكافى لمنع تأين القوس *(Arc de-ionisation)* ونظراً لأهمية إستخدام نظام إعادة التوصيل التلقائى لقواطع التيار فى الشبكات الكهربائية ذات الجهود الفائقة لضمان إستقرار النظام فقد جاء التفكير فى إستخدام وسائل بديلة لنظام الوقاية ذات الدليل تضمن فصل القاطعين معاً فى نفس الوقف . ففى بريطانيا وأثناء تنفيذ المرحلة الأولى للشبكة الكهربائية بها ، حوالى عام *1935* بدؤا فى إستخدام نظام التحميل على خطوط القدرة بمتممات من نوع مقارن الإتجاه *(Directional comparison type)* ثم إستخدام مقارن زاوية التيار *(Phase comparison of current)* على خطوط *132* ك.ف . إستتبع ذلك إستخدام توليفة من الوقاية المسافية ومقارن زاوية التيار للخطوط حتى جهد *275* ك.ف.

وتعتمد تطبيقات الموجات المحملة على خطوط القوى فى نظم الوقاية على نقل إشارة ذات ترددات عالية ، فى بريطانيا مثلاً يكون المدى بين *500 , 80* ك.هرتز حيث يتم وضع إشارة التحميل *(Carrier signal)* على موصلات الخطوط الهوائية عند أحد الجانبين عن طريق معدات ربط تردد عالى مناسبة *(High frequency coupling)* ويماثلها معدات فى الجانب الآخر للخط .

طرق الإتصالات *Mode of Communication*

عادة يحتاج إلى وسط معين لنقل الإشارات ذات الترددات العالية بين نهايتى خط نقل القدرة ، ويمكن أن يكون هذا الوسط هو خط النقل نفسه أو ربط لاسلكى *(Wireless link)* . ويعتمد الربط اللاسلكى على تردد الإشارة المنقولة . وقد تؤثر بعض العوامل على الإختيار بين تحميل خطوط القدرة والربط اللاسلكى ومن هذه العوامل :

* قنوات الإتصالات المتاحة .
* مستوى الضوضاء المسموح .
* تكاليف الإنشاءات .
* الموقع الجغرافى لخطوط النقل .
* أقل قيمة لقوة الإشارة اللازمة لمتممات الوقاية .
* توهين قوة الإشارة *(Attenuation of signal strength)*

وفيما يلى توضيح لطرق الإتصالات ،

1) الموجات المحملة على خطوط القدرة

تعتبر خطوط نقل القدرة وسطاً جيداً لنقل إشارات الترددات العالية (أقل من واحد ميجا هرتز) بإعتبار أن مقطع الموصلات كبيراً ومحاطاً بالهواء كعازل والذى غالباً لا يكون له مفقودات . إن الصعوبة الرئيسية فى إستخدام هذا النظام تتمثل فى إرتفاع مستوى الضوضاء نتيجة مدى التردد الواسع للتفريغ الهالى *(Wide band corona)* على الخط بسبب النسبة العالية بين الإشارة والضوضاء فى خط الموجة المحملة ونقل القدرة المنقولة عند الترددات العالية ، ومن المشكلات الأخرى لهذا النظام تركيب معدات الربط *(Coupling equipment)* اللازمة على جانبى الخط لنقل وإستقبال الإشارات خلال خط النقل . إن حدود تردد التشغيل العادى لنظام تحميل القدرة بين *500 : 50* ك.هرتز ، وللترددات أقل من ذلك فإن تكاليف وحجم معدات الربط تكون كبيرة بينما للترددات أكبر من ذلك فإن مفقودات النقل وتوهين الإشارة تكون محسوسة .

طرق ومعدات الربط

إن الهدف من تحميل الإشارات هو نقل حالة المحطة على أحد جانبى الخط إلى المحطة بالجانب الآخر بواسطة خطوط نقل القدرة . وهناك طرق متعددة للربط بين الجهد العالى ذى التردد العادى والجهد المنخفض ذى التردد العالى . وأبسط هذه الطرق عن طريق مكثف ربط متعدد المراحل *(Multi-stage coupling capacitor)* والموضح بشكل *(8-14)* . تحتوى الدائرة على ملف موالفة *(Tuner coil)* ، متصل على التوالى مع مكثف ، ولعمل موالفة مع المكثف عند تردد الموجات المحملة عند المرسل *(Transmitter carrier frequency)* . وعلى ذلك فإن التيار ذى التردد العالى يمر بسهولة خلال المكثف بينما يعتبر المسار مفتوحاً عند مرور التيار ذو التردد العادى وحيث أن مكثف الربط *(Coupling capacitor)* يحتوى على نقط تقسيم للجهد المنخفض *(Low voltage tapping)* وأحياناً يحتوى على محول جهد تقليدى تستخدم دوائره الثانوية كمصدر لتغذية العدادات ومتممات الوقاية بالمحطة (بجهد *110* ڤولت مثلاً) .

ومكثف الربط عبارة عن محول جهد من النوع السعوى *(Capacitive voltage transformer)* كما تحتوى الدائرة أيضاً عل مصيدة الخط *(Line trap)* وهى عبارة عن ملف ومكثف على التوازى ، بحيث تكون معاوقتهما مهملة عند مرور التيارات ذات التردد العادى ، ومعاوقتهما كبيرة جداً للتيارات ذات تردد الموجات المحملة *(Carrier frequency)* . وتستخدم المصيدة لحفظ تيارات الموجات المحملة فى القناة *(Channel)* المرغوبة وذلك للتغلب على التداخل مع أى قنوات موجات محملة أخرى بالإضافة إلى التغلب على فقد إشارة تيار الموجات المحملة لأى سبب (حدوث قصر خارجى مثلاً) . وعلى ذلك ، فإن تيار الموجات المحملة يمر فقط فى الخط بين المصيدتين .

ومن هنا نلاحظ أن الغرض من معدات الربط يتلخص فى الآتى :

1) تجهيز مسار ذو معاوقة منخفضة من خط الجهد العالى الى الكابل ذى الموصلين متحدى المحور *(Co-axial cable)* للترددات العالية الخاص بإشارة الموجات المحملة .

2) التأكد من مرور التيارات ذات التردد العادى الى كابل الترددات العالية حتى لا يحدث تشوه لإشارات الموجات المحملة .

3) حدوث معاوقة موائمة بين الكابل ذى الموصلين متحدى المحور المتصلين بالإستقبال والإرسال وخط الجهد العالى .

4) التأكد من مرور التيارات ذات الترددات العالية إلى قضبان المحطة لتقليل توهين إشارة الموجات المحملة .

5) يجب تقليل توهين الإشارة فى مكثف الربط .

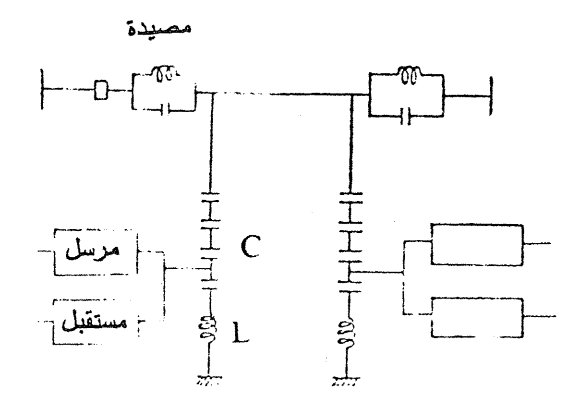
6) يجب وقاية معدات الموجات المحملة ضد الصواعق والفجائيات الناتجة من عمليات التوصيل .

عند حقن التيارات ذات الترددات العالية على أحد موصلات الخط (وجه) فيكون رجوعها إما عن طريق الأرضى أو من خلال موصل وجه آخر للخط . ويمكن أيضاً أن يكون الوجهين من دائرة مزدوجة *(Double circuit)* بحيث يؤخذ وجه من كل قنطرة ثلاثية الأوجه ، ويسمى هذا الربط ربط وجه/وجه *(Phase-to-phase coupling)* والذى يحتاج إلى مجموعتين من مكثفات الربط ومن مصايد الخط مما يعنى تكاليف مرتفعة ، ويوضح شكل *(8-15)* مكونات ربط وجه/وجه . ويمتاز هذا النظام بأنه يقلل توهين قوة الإشارة وله موثوقية أكبر لنقل الإشارات عند حدوث قصر .

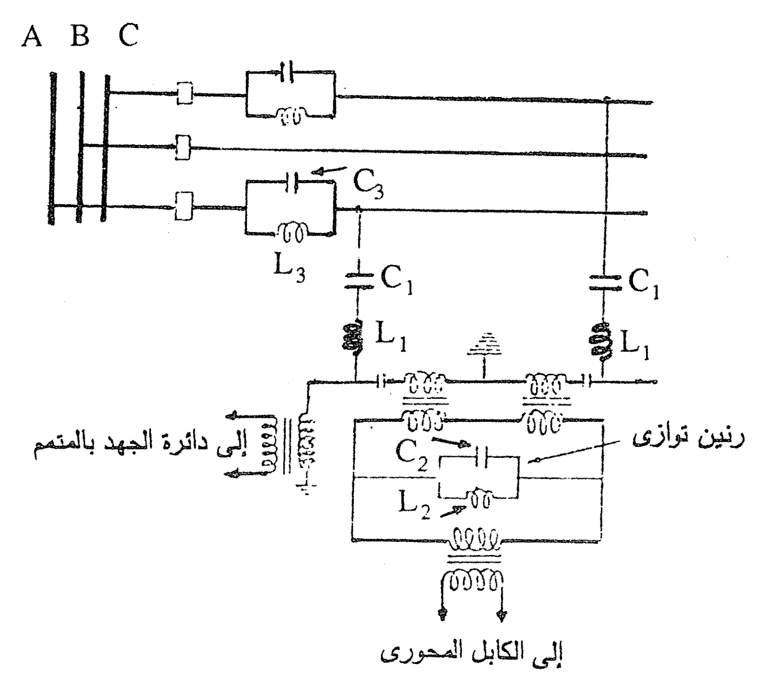
وتكون عادة سعوية مكثف الربط حوالى *2000* بيكوفاراد وقيمة ملف الموالفة حوالى *0.05* مللى هنرى . هذه التركيبة تعطى رنين *(Resonant)* عند تردد حوالى *500* كيلوهرتز ، بينما المعاوقة تساوى *1.5* ميجا أوم عند التردد العادى *50* هرتز .

ولوقاية معدات الموجات المحملة من أية إحتمالات من جهود النظام تضاف دائرة مانع الرنين *(Anti-resonant)* تتكون من *C , L* متصلين على التوازى كما فى شكل *(8-15)* ، تولف عند تردد التحميل وتكون مساراً كدائرة قصر *(Short circuit)* لتيارات التردد العادى .

وتكون القيم التقليدية لمصيدة الخط عبارة عن *200* ميكروهنرى ، *500* بيكوفاراد عند رافض الرنين *Rejector resonance* يساوى *500* كيلو هرتز .



شكل (8-14) الربط من خلال مكثف ربط متعدد المراحل



شكل (8-15) مكونات معدات الربط بين وجهين

ويستخدم محول الحجب *(Screened transformer)* لعزل معدات الموجات المحملة عن خطوط الجهد العالى من حدوث أى فجائيات فى الجهد ، كما يجب إختيار نسبة تحويل المحول لموائمة المعاوقة بين معدات الموجات المحملة ومعدات الربط . وتستخدم ثغرات الشرارة *(Spark gaps)* ومانعات الصواعق من نوع الصمام *(Valve type arrestors)* لوقاية معدات الربط كما فى شكل *(8-16)* .

ويوضح جدول *(8-1)* مقارنة بين نظامى الربط وجه/وجه ، وجه/الأرضى .

جدول *(8-1)*

وجه / وجه *Phase - to - Phase*	وجه / الأرضى *Phase -to- Earth*
[illegible] ضرورياً وجود سلك أرضى	* يجب أن يحتوى الخط الهوائى على سلك أرضى
* تكاليف مرتفعة نتيجة إحتواء النظام على مكثفى ربط ومصيدتين	* تكاليف منخفضة نتيجة إحتواء النظام على مكثف ربط ومصيدة
* توهين منخفض	* توهين أعلى
* مستويات التداخل منخفضة	* مستويات التداخل أعلى
* الربط ضعيف جداً مع الاوجه الأخرى	* يمكن إدراك الربط مع الأوجه الأخرى

يغطى مدى التردد المتاح لمعدات الربط بعدد من النطاقات *(Bands)* والتى يمكن إختيارها تبعاً لقيم L_1 , L_2 , C_2 , C_3 ، بالرجوع إلى شكلى *(8-16)* , *(8-15)* ويعتمد إختيار عرض النطاق *(Wide band)* على :

* تقليل قيمة الرنين وقيم الضبط للمكونات المختلفة لجعلها تطبيقات مرنة .
* تجهيز معدات الربط والتى يمكن قبولها فى عدد من القنوات ، للوقاية والإتصالات والتحكم والقياسات .

فمثلاً لمصيدة خط *200* ميكروهنرى و *2000* بيكوفاراد للجهود *132* ك.ف و *275* ك.ف فإن النطاق يكون كما فى جدول *(8-2)* .

وفى حالة شبكة ذات جهد *400* ك.ف فإن قيمة المحاثة تنخفض إلى *100* ميكروهنرى وتظل السعوية *2000* بيكوفاراد ويتكون النطاق كما فى جدول *(8-3)* .

جدول (8-2)

عرض النطاق Band width كيلو هرتز	تردد منتصف النطاق Mid-Band Frequency كيلو هرتز	النطاق Band
82 - 110	95	A
110 - 180	140	B
145 - 255	200	C
194 - 600	340	D
90 - 132	180	E
150 - 315	215	F
116-196	152	G

جدول (8-3)

عرض النطاق Band width كيلو هرتز	تردد منتصف النطاق Mid-Band Frequency كيلو هرتز	النطاق Band
70 - 81	75.5	1
80 - 95	87.5	2
90 - 110	99.5	3
100 - 125	112	4
110 - 140	125	5
120 - 158	138	6
130 - 175	151	7
150 - 214	179	8
180 - 280	225	9
250 - 500	353	10

يوضح شكل *(8-17)* العلاقة بين التردد (كيلو هرتز) والتوهين *(Attenuation)*

حيث : F_1 : أقل تردد قطع *(Lower cut-off frequence)*

F_2 : أعالى تردد قطع *(Upper cut-off frequency)*

F_O : تردد منتصف النطاق *(Mid-band frequency* $= \sqrt{F_1 F_2}$*)*

ΔF : مدى النطاق $= F_2 - F_1$

ويعرف التوهين *(Attenuation)* (أو الكسب *Gain*) للموجات المحملة على خطوط القدرة بأنه النسبة بين قدرة المدخل *(Input power)* والقدرة المستقبلة *(Received power)* بوحدات الديسبل *(Decibels)* ومن شكل *(8-18)* نجد أن التوهين يساوى :

$$\frac{P_1}{P_O} = \frac{\text{قدرة المدخل (المرسل)}}{\text{القدرة المستقبلة}}$$

$$\text{ديسبل} \qquad \text{توهين القدرة} = 10 \, Log_{10} \frac{P_1}{P_O}$$

$$\frac{P_1}{P2} = \frac{V_1^2}{Z} \cdot \frac{Z}{V_O^2} = \frac{V_1^2}{V_O^2}$$

$$\text{ديسبل} \qquad \text{توهين الجهد} = 10 \, Log_{10} \frac{V_1^2}{V_O^2} = 20 \, Log_{10} \frac{V_1}{V_2}$$

يمكن تعريف التوهين بوحدات نبر *Nepres* (النبر يساوى *8.7* ديسبل) .

$$\text{نبر} \qquad \text{توهين الجهد} = Log_e \frac{V_1}{V_2}$$

ويعتمد توهين إشارة الموجات المحملة على طريقة النقل وتردد التشغيل وحالة النظام والجو وطبيعة الخط وهل يوجد عطل أم لا .

وتقاس كفاءة نظام وقاية الموجات المحملة على قيمة توهين جهد الإشارة وعلى فقد التردد العالى لجانب إرسال الموجات المحملة .

وتعتبر قدرة الإشارة التى تساوى *1* مللى وات هى المرجع وكل القدرات تمثل بمضاعفات هذه القيمة .

ينقسم توهين الإشارة إلى قسمين هما :

* التوهين فى معدات الربط والتى تتمثل فى الفقد فى الإشارة بالمصايد ومكثفات الربط والمرشحات والكابلات ذات الموصلين متحدى المحور . ويكون الفقد فى المعدات حوالى *10* ديسبل ، أما فى الكابلات حوالى *3.5* ديسبل لكل *100* متر من طول الكابل .
* التوهين فى خط النقل ، ويعتمد التوهين فى الخط الهوائى على تركيب النظام وعلى تردد الموجات المحملة بالإضافة إلى النسبة بين الفاصل النسبى إلى الإرتفاع *(Relative interspace to hight)* لموصلات الخط .

وعند تردد الموجات المحملة بين *100* إلى *400* كيلو هرتز فإن التوهين فى الخط يتراوح بين *0.05* إلى *0.44* ديسبل لكل كيلومتر لنظام ربط وجه/وجه . وذلك للجهود من *11* ك.ف إلى *400* ك.ف . وكلما زاد جهد النظام كلما إنخفض الفقد (ديسبل لكل كيلو متر) .

ويوضح جدول *(8-4)* الفقد فى قدرة الإشارة عند الجهود المختلفة وترددات الموجات المحملة المختلفة . كما يوضح جدول *(8-5)* التوهين عند الجهود *275 , 133* ك.ف. وترددات الموجات المحملة المختلفة لخط هوائى مزدوج *0.4* بوصة مربعة مع إهمال حالة تكون الثلوج .

وتكون معدات الربط كبيرة الحجم وتوضع غالباً فى ساحة المفاتيح *(Switch yard)* بينما توجد معدات الموجات المحملة بحجرة التحكم وعلى مسافة من معدات الربط ، ولذلك يجب الإعتناء بكيفية تأريض المعدات ، حيث توصل أساساً وحدة الربط مع تأريض المحطة بالطريقة المعتادة ، بالإضافة إلى توصيله بمسمار أرضى موضعى *(Local Spike)* كما فى شكل *(8-19)* ويؤدى ذلك الى صغر المعاوقة الموجية *(Surge impedance)* ، يجب ملاحظة جميع توصيلات الأرضى فى شكل *(8-19)* وهو نظام ربط وجه/وجه لخط جهد *132*ك.ف – *275* ك.ف .

جدول (8-4) الفقد ديسبل / ميل

(أ) نظام وجه / أرضى

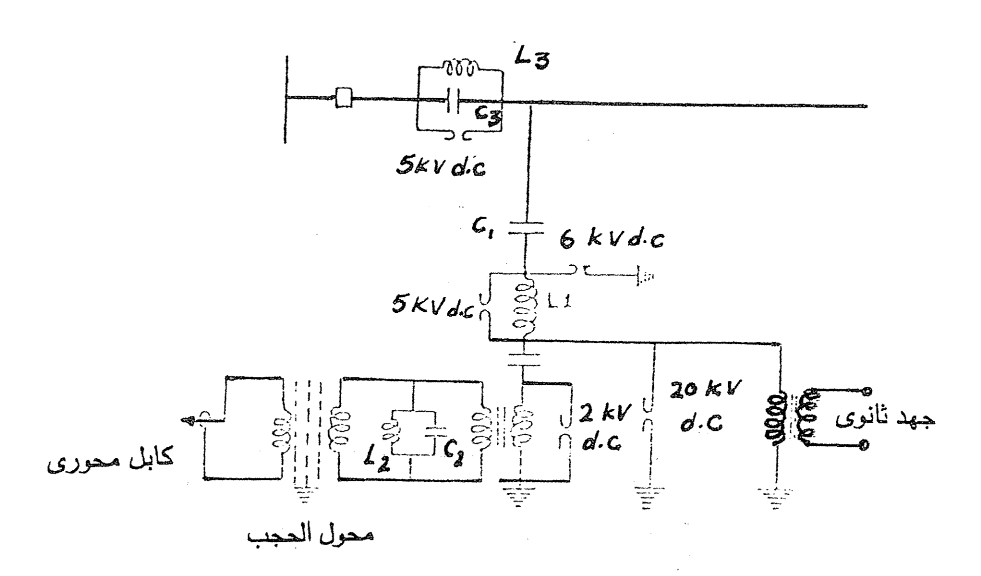
الجهد K.V	تردد الموجات المحملة (ك. هرتز)							
	400	300	200	100	70	50	30	20
13.8	0.9	0.6	0.35	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17
34.5	0.66	0.46	0.28	0.17	0.15	0.13	0.12	0.08
69	0.55	0.36	0.25	0.15	0.13	0.11	0.08	0.068
115	0.48	0.33	0.22	0.13	0.12	0.09	0.07	0.06
138	0.37	0.28	0.18	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
230	0.35	0.27	0.17	0.01	0.08	0.065	0.05	0.04

(ب) نظام وجه / وجه

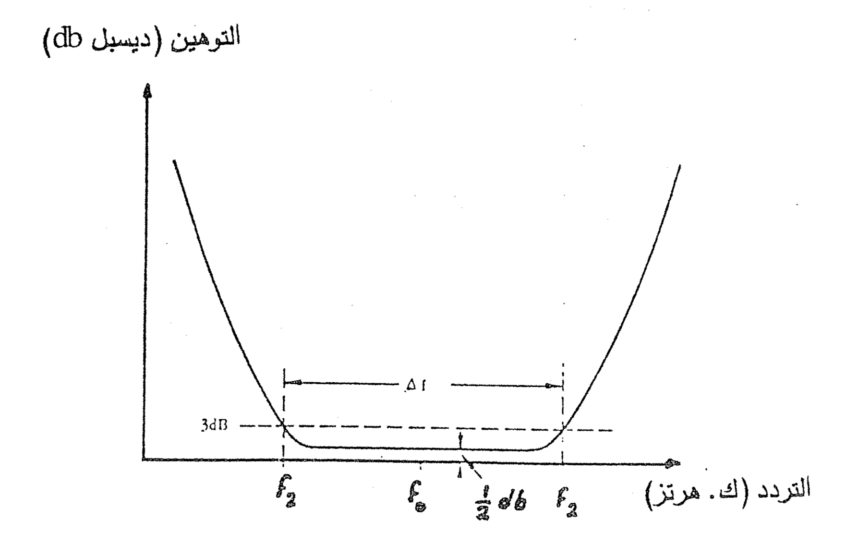
الجهد K.V	تردد الموجات المحملة (ك. هرتز)							
	400	300	200	100	70	50	30	20
13.8	0.70	0.48	0.30	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13
34.5	0.63	0.41	0.24	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08
69	0.43	0.30	0.21	0.125	0.10	0.085	0.068	0.058
115	0.33	0.25	0.18	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05
138	0.28	0.23	0.16	0.10	0.08	0.065	0.05	0.04
230	0.27	0.20	0.14	0.085	0.064	0.05	0.038	0.032

جدول (8-5) التوهين (ديسبل / ميل)

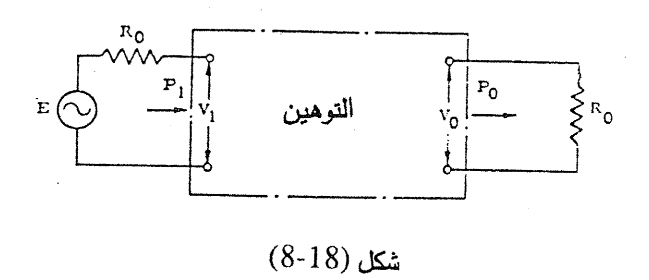
الجهد K.V	تردد الموجات المحملة (ك. هرتز)				
	500	400	300	200	100
133	0.22	0.20	0.15	0.10	0.08
275	0.18	0.16	0.12	0.08	0.085



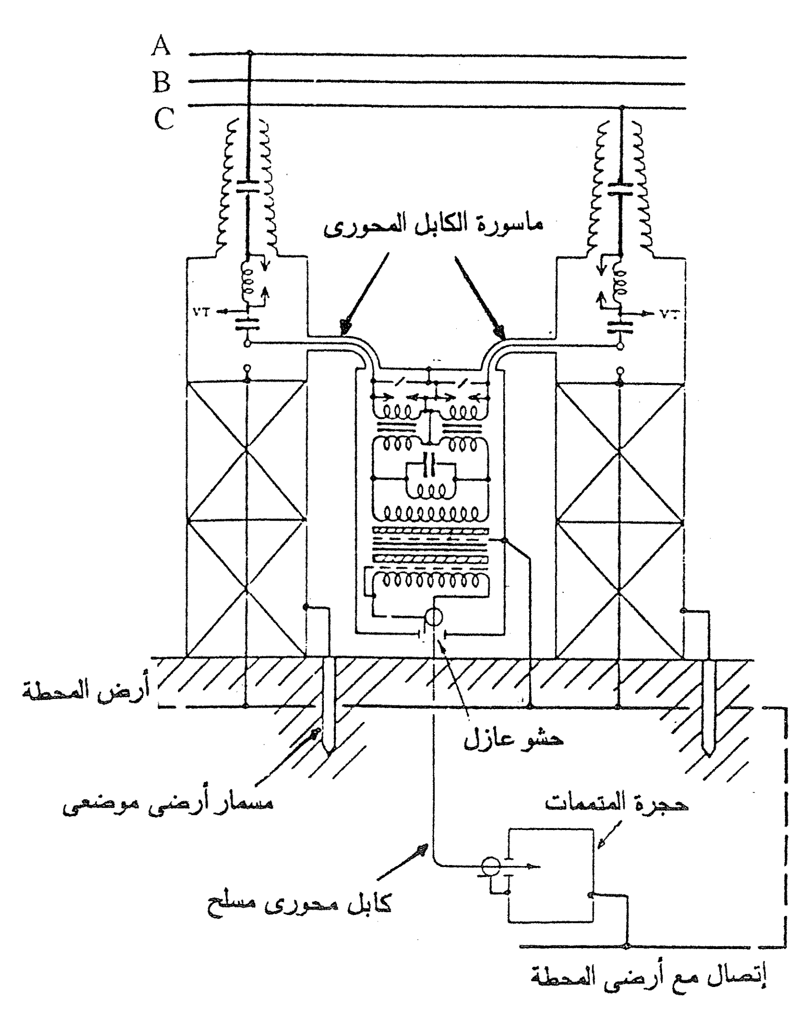
شكل (16-8) وسائل وقاية معدات الربط



شكل (17-8) العلاقة بين التردد والتوهين



شكل (8-18)



شكل (8-19) تأريض معدات الربط

معدات الإشارة *Signalling Equipment*

تعمل أغلب معدات الإشارة عند الترددات الصوتية *(Voice frequencies)* والتى يمكن إستخدامها لجميع مسارات الإتصالات مثل الأسلاك ذات الدليل والموجات المحملة على خطوط القدرة والقنوات اللاسلكية *(Radio)* أو الموجات الدقيقة *(Microwave)* وتتكون أساساً من مرسل *(Transmitter)* ومستقبل *(Receiver)* حيث تركب على جانبى الخط ، كما فى شكل *(8-14)* ، وعملها الأساسى هو السماح للإشارات الناتجة من معدات الوقاية بالإرسال إلى الجانب الآخر خلال مسارات الإتصالات وإستقبال الإشارات من هذه المسارات ومرورها الى معدات الوقاية .

جهاز الإرسال *Transmitter*

يمكن تمثيل جهاز الإرسال كما فى شكل *(8-20)*أ والذى يتكون من :

* وحدة المزامنة *(Synchronising unit)*
* مكبر *(Amplifier)*
* مرشح *(Filter)*
* مذبذب *(Oscillator)*

وعموماً فإن المذبذب المستخدم هو مذبذب هارتلى *(Hartley Oscillator)* حيث يجهز بوحدة مكثف تؤدى إلى تشغيل الدائرة الخازنة *(Tank circuit)* عند تردد مزاح *(Frequency shift)* . وتتولد إشارتى تردد الفصل *(Trip frequency)* وتردد الحائل *(Guard frequency)* من المذبذب عن طريق تشغيل وفصل المكثفات . كما تتحكم وحدة المزامنة لحظياً فى تشغيل المكثف لكى يحدث تغيير فى التردد عند لحظة تقاطع الموجة الجيبية للمذبذب مع المحور الأفقى (القيمة الصفرية للموجة الجيبية) وبذلك تحذف الحالات العابرة *(Transient)* فى مخرج جهاز المرسل وتتغذى وحدة المكبر والتوهين من المذبذب وذلك كتعزيز مخرج جهاز المرسل خلال زمن إشارات الموجات المحملة . ثم يضاف مرشح إمرار نطاقى *(Band pass filter)* للتأكد من توافق معاوقة الحالات العابرة لجهاز المرسل مع معدات الربط . تسمح دائرة تحكم جهاز المرسل بمرور الإشارة إلى معدات الوقاية وتتحكم فى التوهين عن طريق تعزيز الإشارة عندما يولد المذبذب تردد الفصل أو المنع .

وعلى ذلك يمكن تمثيل جهاز المرسل بمدخل من معدات الوقاية ومخرج إلى معدات الربط .

جهاز المستقبل *Receiver*

يمكن تمثيل جهاز المستقبل كما فى شكل *(8-20)*ب والذى يتكون من :

* مرشح إمرار نطاقى *(Band pass filter)*
* دائرة توهين *(Attenuator)*
* مميز ترددات *(Frequency discriminator)*
* عنصر مخرج *(Output unit)*

يتلائم مرشح الإمرار النطاقى مع معاوقة مدخل جهاز المستقبل ، ويختار أيضاً مدى التردد المناسب لمعدات الوقاية ويرفض إشارات الترددات العالية الأخرى والمستقبلة على نفس معدات الموجات المحملة ، وتتحكم دائرة التوهين فى قيمة الإشارة المستقبلة وتلغى توهين الخط . ويكشف مميز الترددات كل من تردد الفصل وتردد الحائل . ويمثل مميز الترددات كما فى شكل *(8-20)*ج حيث يتكون من دائرة موجات مربعة *(Squaring circuit)* ودائرة قياس أحادى الإستقرار *(Measuring monostable)* ودليل دورة أحادى الإستقرار *(Period marking monostable)* . حيث يخلق دليل الدورة سلسلة نبضات لها نفس التردد المستقبل من دائرة التوهين ، وينتج من دائرة قياس أحادى الإستقرار مخرج مربع يبدأ من أول نبضة فى دليل الدورة . ويكون زمن إشارة المخرج هو نفس زمن تردد الفصل . وبذلك نحصل من دالة *(NAND)* على تطابق *(Coincidence)* بين مخرج دليل الدورة وبين نهاية الحافة *(Falling edge)* لمخرج دائرة قياس أحادى الإستقرار . ويشترط للحصول على هذا التطابق أن يتساوى تردد الفصل وتردد الإشارة المستقبلة كما يكشف المميز أيضاً عن تردد الحائل .

يتكون عنصر المخرج من دائرة ثنائى الإستقرار *(Bistable)* ، وهى عبارة عن دائرة تشغيل يحدث لها إطلاق *(Trigger)* عندما يكشف المميز عن إشارة جهاز الإرسال . وعلى ذلك يمكن تمثيل جهاز المستقبل بمدخل من معدات الربط ومخرج إلى معدات الوقاية .

وفيما يلى نوجز تعريف للمصطلحات المستخدمة فى نظام الموجات المحملة على خطوط القدرة :

1) التأخير الزمنى للنقل فى نظام الموجات المحملة على خطوط القدرة:

فى خطوط النقل ذات المسافات الطويلة فإن جهاز مستقبل الموجات المحملة يمد

بالطاقة متأخراً قليلاً عن جهاز المرسل . ففى أغلب الحالات تعتبر إشارات النقل لحظية ، ولكنها تسبب تأخير زمنى صغير ويمكن تصنيف هذا التأخير الزمنى إلى :

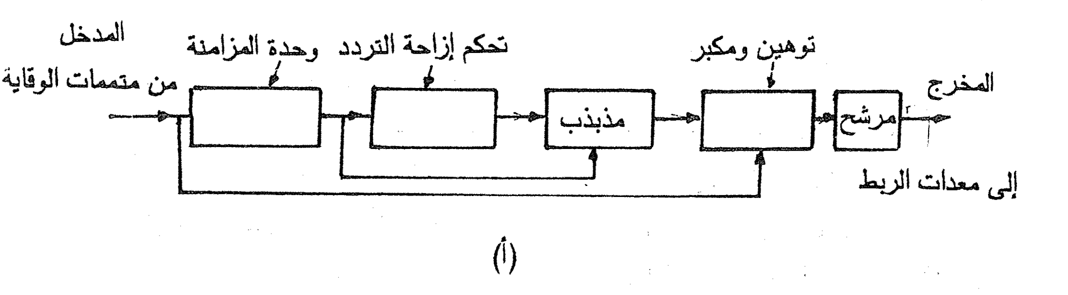
أ) تأخير ناتج من المعدات ، فمثلاً فى مكثف الربط ودوائر التضمين وعدم تضمين *(Modulation and demodulation circuit)* لكل من جهازى المستقبل والمرسل بالإضافة إلى عرض النطاق لكل من جهازى المستقبل والمرسل أيضاً ، فكلما كان عرض النطاق أكبر كلما كانت إشارة النقل أسرع . ولكن التغير فى الزمن لا يتمثل بكبر عرض النطاق فمثلاً جهاز مرسل ذو *50* قناة يعمل فى حوالى *22* مللى ثانية بينما لجهاز مرسل *200* قناه فإن كل قناة تحتاج *15* مللى ثانية .

ب) تأخير المسار ، ويكون راجعاً إلى كبر محاثة *(Inductance)* خطوط النقل ويكون هذا التأخير أقل من التأخير الناتج من المعدات وكرقم تقريبى فإن تأخير المسار يكون *0.33* مللى ثانية لكل *100* كيلومتر من الخط .

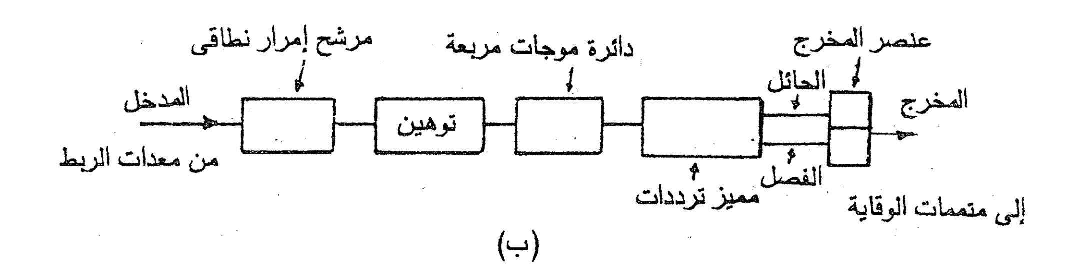
2) تردد الموجات المحملة وعرض النطاق :

يناسب موصلات خطوط نقل القدرة ومعدات الموجات المحملة مرور تيارين لحظياً هما تيار التردد الأساسى وهو *50* أو *60* هرتز وعند الجهود الفائقة والآخر تيارالتردد العالى ويكون عادة بين *10* و *500* كيلو هرتز عند جهد صغير جداً . وتكون الإشارة الرئيسية لتردد الموجات المحملة هى قيمة تردد واحد مختار وغالباً يكون تردد منتصف النطاق . وتصمم مصيدة الخط ومكثف الربط عند هذاالتردد . وتتولد إشارة هذا التردد عن طريق مذبذب قياسى عند هذا التردد . وتتولد إشارة هذا التردد عن طريق مذبذب قياسى ومن خلال معدات الموجات المحملة ، وتحدث عملية التضمين *(Modulated)* للتحميل الرئيسى عند جهاز المرسل بينما تحدث عملية عدم تضمين *(Demodulated)* عند جهاز المستقبل فى الجانب الآخر للخط ، وذلك بإستخدام موجات محملة فرعية *(Subcarrier)* أو أكثر ويكون للموجات المحملة الفرعية تردد فى حدود التردد السمعى *(Audio frequency)* .

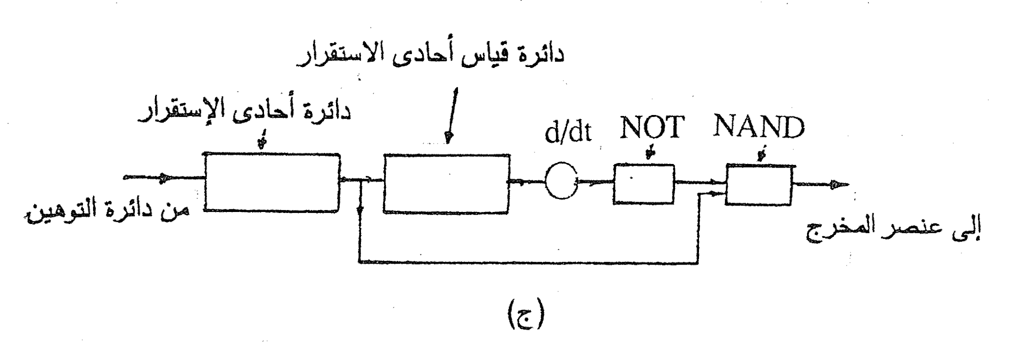
عموماً ، يكون لموجات محملة فرعية ذات عرض نطاق يساوى *4* كيلوهرتز إمكانية نقل أى إشارات ، والتى يمكن أن تكون قناة تردد صوتى (من *300* إلى *3500* هرتز) ، أو قناة تردد سرعة (من *300* إلى *2400* هرتز) ، أو قناة وقاية (لأى نوع تضمين) ، أوقناة قياس عند بعد *(telemetry)* لبيانات النظام أو قناة تحكم لأغراض خاصة ، وبعضها يحتاج عرض نطاق ضيق *1* كيلو هرتز مثلاً ، وإذا كانت



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (8-20) جهاز المستقبل

الموجات المحملة تحتوى على أكثر من قناة فيجب عزل كل قناة . ويعنى هذا من الناحية القياسية للقنوات أقل من 300 كيلوهرتز فإن العزل يكون 4% من التردد الأساسي للموجات المحملة ، ويكون 12 كيلوهرتز للقنوات أكبر من 300 كيلوهرتز . كما يجب أن تحتوى دائرة عدم التضمين على مرشحات متعددة ذات نطاق ضيق تتصل على التوالى وذلك لعزل كل تردد نطاق على حده . بمعنى أنه لتردد موجات محملة رئيسى 500 كيلوهرتز عدد 4 موجات محملة فرعية لها ترددات منتصف النطاق مثل 1.5 كيلوهرتز للإتصالات الصوتية و 5.5 كيلوهرتز للوقاية و 9.5 كيلوهرتز للقياسات عن بعد ، و 14.5 كيلوهرتز لأغراض التحكم .

3) التضمين :

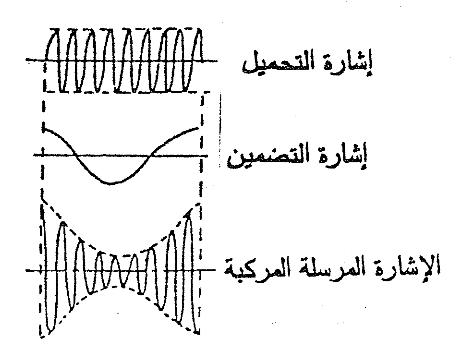
يحدث تضمين لإشارة إتصالات الموجات المحملة على خطوط القوى بواسطة موجات ذات ترددات عالية وفى حالة الإتصالات الصوتية تكون للإشارات حدود تردد صوتى أو حدود تردد القدرة الأساسى الخاص بالوقاية والتحكم . ان التضمين المناسب لموجات محملة ذات تردد عالى على إشارات نقل القدرة ، وقد تتغير قيمة إشارة موجات التردد العالى إعتماداً على قيمة إشارة التردد الأساسى المنخفض ، ويوضح شكل (8-21)أ قيمة إشارة التضمين أى تركيب إشارة موجة محملة على إشارة التضمين ، وتكون المعادلات كالآتى :

معادلة إشارة الموجة المحملة $e_c = E_c \sin \omega_c t$

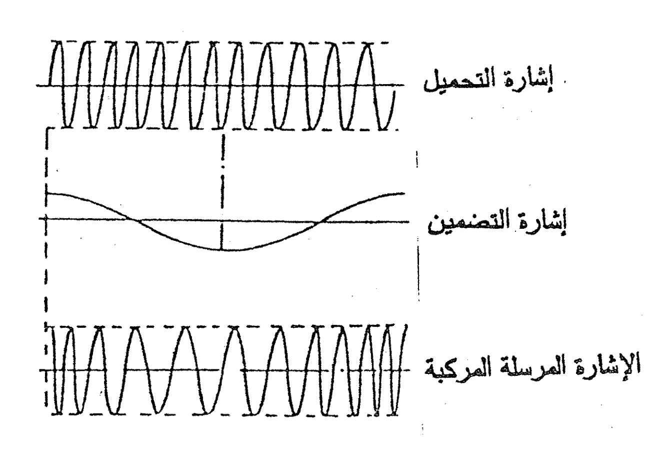
ومعادلة إشارة التضمين $e_m = E_m \cos \omega_m t$

ومعادلة الإشارة المرسلة المركبة $e = E_c (1 + \frac{E_m}{E_c} \cos \omega_m t) \sin \omega_c t$

فى المعادلة السابقة تعرف النسبة $\frac{E_m}{E_c}$ بعامل التضمين *(Modulating factor)* أو بعمق التضمين *(Depth of modulation)* ويرمز له بالرمز m بينما عندما تكون إشارة الموجة المحملة لتضمين ترددى *(Frequency modulated)* ، فإن ترددها يصبح متناسباً مع القيمة اللحظية لإشارة التضمين . وتظل الإشارة المركبة موجة جيبية فى طبيعتها ولكن يوجد تكثيف وتخلخل فى الموجة المحملة ، كما فى شكل (8-21)ب حيث يوضح إشارة الموجة المحملة وإشارة التضمين والإشارة المرسلة المركبة ، وتكون المعادلات كالآتى :



(أ)



(ب)

شكل (8-21) إشارة التضمين

معادلة إشارة الموجة المحملة $e_c = E_c \sin \omega_c t$

ومعادلة إشارة التضمين $e_m = E_m \cos \omega_m t$

ومعادلة الإشارة المرسلة المركبة $e = E_c \sin \theta$

حيث θ هى زاوية الإشارة المركبة والتى تساوى :

$$\theta = \theta_c + \theta_m$$

$$\theta_m \ \alpha \ \frac{E_m}{\omega_m} \quad \sin \omega_m t$$

$$= K \ \frac{E_m}{\omega_m} \quad \sin \omega_m t$$

$$\theta_c = \omega_c t$$

$$\therefore \ \theta = \omega_c t + K \frac{E_m}{\omega_m} \quad \sin \omega_m t$$

وعلى ذلك فإن معادلة الإشارة المرسلة المركبة تكون :

$$e = E_c \sin (\ \omega_c t + K \ \frac{E_m}{\omega_m} \quad \sin \omega_m t \ )$$

(لاحظ أن $\omega = \frac{d\theta}{dt}$)

وفيما يلى أهم التطبيقات بإستخدام طريقة الموجات المحملة على خطوط القوى فى نظم الوقاية .

طرق نقل الإشارات

تولد إشارات التردد السمعى *(Audio frequency)* التى تصف حالة النظام بطريقتين مختلفتين . وأسهل الطرق تتم بنقل إشارة كود *(Coded signal)* والتى تعطى دلالة ما إذا كان النظام سليم أو عاطل وبأكثر دقة ما إذا كان العطل فى المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية أو خارجها ، ويعرف نظام الوقاية ، بإستخدام هذه الطريقة لنقل الإشارات ، بنظام الحالة *(State system)* . وأيضاً يعرف بوقاية الموجة المحملة الإتجاهية *(Directional carrier protection)* بحيث تسير إشارة الموجة المحملة فقط إلى إتجاه العطل (من بيانات المحطة) .

تصنف طرق نقل الإشارات إلى :

أ) توصيل الطنين *Tone - on*

تولد وتنقل إشارات الترددات السمعية فقط فى حالة وجود عطل فى النظام . وتغيب بالكامل إشارة الوقاية فى حالة التشغيل العادية ويمكن إستخدام قنوات الموجات المحملة فى أغراض أخرى على الأقل تكون فى حالة سكون .

ب) فصل الطنين *Tone - off*

فى هذه الحالة توجد إشارة بإستمرار فى قناة الموجات المحملة ، لأغراض الوقاية خلال حالة التشغيل العادية للنظام ، وتنتهى الإشارة عند حدوث عطل أو عند إنهيار فى معدات الموجات المحملة . الميزة الكبرى لهذا النظام هو المراقبة المستمرة الممكنة لقناة الموجات المحملة بالإضافة إلى عدم الإحتياج إلى إشارة نقل أثناء الأعطال .

ج) إزاحة التردد *Frequency shift*

تحتوى هذه الحالة على طنين ترددات سمعية (مماثلة لحالة التليفونات بإستخدام طنين التقاط الخط *(Dialling)* وطنين تعشيق الخط *(Engaged)* وتستخدم للإشارة لسلامة أو عطل النظام ، يمكن أن يكون الطنين أما إشارتى موجة جيبية ذى تردد سمعى مختلف أو إشارتى نبضات لهما معدل وعرض مختلف . تحتاج هذه الحالة إلى إستخدام مرشحات نطاق ضيق *(Narrow band filters)* منفصلة عند جهاز المستقبل وذلك لعزل الطنين العاطل عند الطنين العادى . يمكن المراقبة المستمرة لقناة الموجات المحملة أثناء إشارة الطنين العادية . ويعتبر هذا النظام مكلف . من عيوب وقاية الموجات المحملة الاتجاهية إرتفاع مستوى الضوضاء *(Noise)* ويفضل عليها الطريقة الأخرى لوقاية الموجات المحملة وهى ما تعرف بإسم وقاية النظام بالتناظر *(Analogous system of protection)* . أو وقاية الموجات المحملة بمقارن الزاوية *(Carrier phase comparison protection)* والتى فيها يتم مقارنة زاوية التيار على جانبى الخط . وتكون لإشارة الموجات المحملة ذات قيمة ثابتة وتردد عالى ، والتى تنقل بإختلاف زاوية $180°$ عن التيار الرئيسى .

١) الوقاية بإستخدام مقارن الإتجاه *Directional comparison protection*

يعتبر مقارن الإتجاه من أوائل تطبيقات إستخدام الموجات المحملة بنظم الوقاية وذلك منذ عام *1930* ومازالت حتى الآن من الإستخدامات الهامة والتى تستخدم بتوسع أيضاً .

وتعتمد فكرة هذاالنظام على مقارنة إتجاه مرور القدرة أثناء العطل على جانبى الخط وذلك بإستخدام متممات وقاية إتجاهية . وعند حدوث قصر خارج الخط فإن إتجاه السريان يكون خارجاً من أحد جانبى الخط . بينما عند حدوث قصر على الخط فإن إتجاهى السريان ، على جانبى الخط ، تكون فى إتجاه الخط .

ويستخدم متمم الوقاية الإتجاهية للكشف عن إتجاه سريان قدرة العطل ، لذلك فعند حدوث قصر خارجى فإن متمم الوقاية الإتجاهية يعطى إشارة بدء لدوائر الموجات المحملة التى بدورها تعمل على منع فصل *(Block tripping)* قاطعى التيار على جانبى الخط .

ويوضح الشكل *(8-22)* تمثيل للوقاية بإستخدام مقارن الإتجاه ، حيث يركب الآتى على كل جانب :

* متمم وقاية اتجاهية *(Directional relay)* ويرمز له بالرمز *D*
* متمم كاشف العطل *(Fault detecting relay)* ويرمز له بالرموز *FD*
* جهاز المرسل *(Transmitter)* ويرمز له بالرمز *T*
* جهاز المستقبل *(Receiver)* ويرمز له بالرمز *R*

فعند حدوث عطل على الخط *A-B* فإن إتجاه سريان التيار يكون كالموضح بالشكل والذى يحدد أى المتممات تعمل ، فمثلاً المتمم الإتجاهى ومتمم كاشف العطل على جانبى الخط *B-C* يعملان ولكن لا ترسل أى إشارات الموجات المحملة من أى من الجانبين . ويعتبر هذا القصر خارجى بالنسبة للخط *AB* لذلك لا يعمل المتمم الإتجاهى على الجانب *B* ويعمل على الجانب *A* مع ملاحظة أن متمم كاشف العطل عبارة عن متمم وقاية ضد زيادة التيار أو وقاية مسافية .

وفى حالة إستخدام متمم وقاية ضد زيادة التيار ، للكشف على جميع الأعطال ، فيجب أن يضبط تيار القصر الأرضى *(Earth fault setting)* بأقل من تيار الحمل

بينما يضبط تيار القصر للأوجه *(Phase fault setting)* على الأقل ضعف أقصى تيار الموجات المحملة وذلك منعاً لإستمرارية نقل إشارات الموجات المحملة فى حالة الأحمال العادية .

للتغلب على حالات التشغيل الخاطئ فإنه يفضل إستخدام الوقاية المسافية ككاشف أعطال وبالتالى لا يعتمد على تيار الحمل ولكن على معاوقة الخط .

يتكون النظام كما فى شكل *(8-23)* ، وتتلخص فكرته فيما يلى :

متمم كاشف العطل ، والذى يحتوى على عنصر ضبط منخفض *(Low set)* وعنصر ضبط مرتفع القيمة *(High set)* . حيث يستخدم عنصر الضبط المنخفض للتحكم فى المرسل ، وهو عبارة عن مكبر ومذبذب ، وترسل إشارة التحميل إلى الخط عن طريق معدات الربط إلى الجانب الآخر للخط . بينما تستقبل إشارة تحميل مماثلة من الجانب الآخر خلال مرشح إمرار نطاقى ، ومكبر ، ومتمم إستقبال . ويستخدم عنصر الضبط المرتفع لتكملة دائرة الفصل لقاطع التيار فى حالة إشتغال المتمم الإتجاهى وعدم إشتغال متمم الإستقبال *(Receive relay)* .

وتصنف نظم الوقاية الاتجاهية الحديثة بإستخدام تحميل خطوط القدرة ، طبقاً للغرض المستخدم من أجله ، إلى :

أ) المقارن الإتجاهى المانع .
ب) المقارن الإتجاهى غير المانع .
ج) المقارن الإتجاهى لعدم التجاوز وتحويل إشارة الفصل .
د) المقارن الإتجاهى لتجاوز الحد وتحويل إشارة الفصل .

وفى هذه الأنواع يكون كاشف العطل عبارة عن وقاية مسافية ووقاية ضد زيادة التيار ، ويمكن أن يكون النظام إما كهرومغناطيسى أو استاتيكى ويخضع لنفس فكرة التشغيل . وفيما يلى توضيح لكل حالة :

أ) المقارن الاتجاهى المانع *Directional comparison blocking*

يوضح شكل *(8-24)* فكرة هذا النظام ، وتتمثل الرموز كالآتى :

FD : كاشف العطل ، وهو عبارة عن وقاية مسافية لأعطال الأوجه ووقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى اللحظى للأعطال الأرضية .

D : متممات بدء الموجات المحملة *(Carrier start relays)* وتكون بداية إشارة الموجات المحملة عن طريق الوقاية المسافية والوقاية ضد زيادة التيار .

T : جهاز المرسل والذى يعمل عند تردد لاسلكى F_1

R : جهاز المستقبل والذى يعمل عند تردد لاسلكى F_1

بالإضافة إلى مؤقت *(Timer)* للحصول على تأخير زمنى معين قبل توصيل إشارة فصل قاطع التيار . كذلك بوابتين *AND*

من الشكل *(8-24)* فإن وحدات S_1 (عند القاطع رقم *2* والقضيب G) تعمل مع جميع أعطال الأوجه والأرضى الحادثة على يسار القاطع رقم *1* والتى تشغل FD_2 عند القاطع رقم *2* والقضيب H . بالمثل فإن S_2 (عند القاطع رقم *2* والقضيب H) تعمل مع جميع أعطال الأوجه والأرضى وكذلك يعمل FD_1 عند القاطع رقم *1* والقضيب G

وبمعاملة الدوائر المنطقية *Logic* بشكل *(8-24)* سنعرض حالتى عطل لفهم الفكرة .

ـ عند حدوث قصر خارج الخط (يمين القضيب H)

* المتممات عند الجانب H

FD_2 لا يعمل .

S_2 يعمل .

$AND\ H_1$ يكون لها مدخلين *1* . *1* ومخرج *1*

T الحصول على مخرج من جهاز المرسل F_1 ، أى تستقبل الإشارة اللاسلكية F_1 فى نفس المحطة وترسل إلى المحطة البعيدة G

$AND\ H_2$ يكون لها مدخلين O . O أى لا تخرج إشارة لفصل قاطع التيار رقم *2*

* المتممات عند الجانب G :

$AND\ G_2$ الإشارة اللاسلكية F_1 المستقبلة ، تجعل أحد المدخلين O لذلك لا نحصل على اشارة مخرج من الدالة حتى لو اشتغل FD_1 ، بمعنى آخر لا نحصل على اشارة لفصل قاطع التيار رقم *1*

$AND\ G_1$ بإشتغال FD_1 نحصل على احد المدخلين O وبالتالى لا نحصل على مخرج من جهاز المرسل حتى لو اشتغل S_1 مع الاعطال الخارجية .

- عند حدوث قصر فى المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية (عطل على الخط G-H)

* المتممات عند الجانب G

FD_1 يعمل .

$AND\ G_1$ بإشتغال FD_1 نحصل على أحد المدخلين O وبالتالى فإن جهاز المرسل لا تخرج منه إشارة الموجات المحملة F_1 إلى الجانب H .

$AND\ G_2$ المدخلان يكونان 1 , 1 وبالتالى نحصل على إشارة فصل قاطع التيار 1 بعد التأخير الزمنى .

* المتممات عند الجانب H

$AND\ H_1$ بإشتغال FD_2 نحصل على أحد المدخلين O وبالتالى فإن جهاز المرسل لا تخرج منه إشارة الموجات المحملة F_1 إلى الجانب G .

$AND\ H_2$ المدخلين يكونا 1 , 1 وبالتالى نحصل على إشارة فصل قاطع التيار 2 بعد التأخير الزمنى .

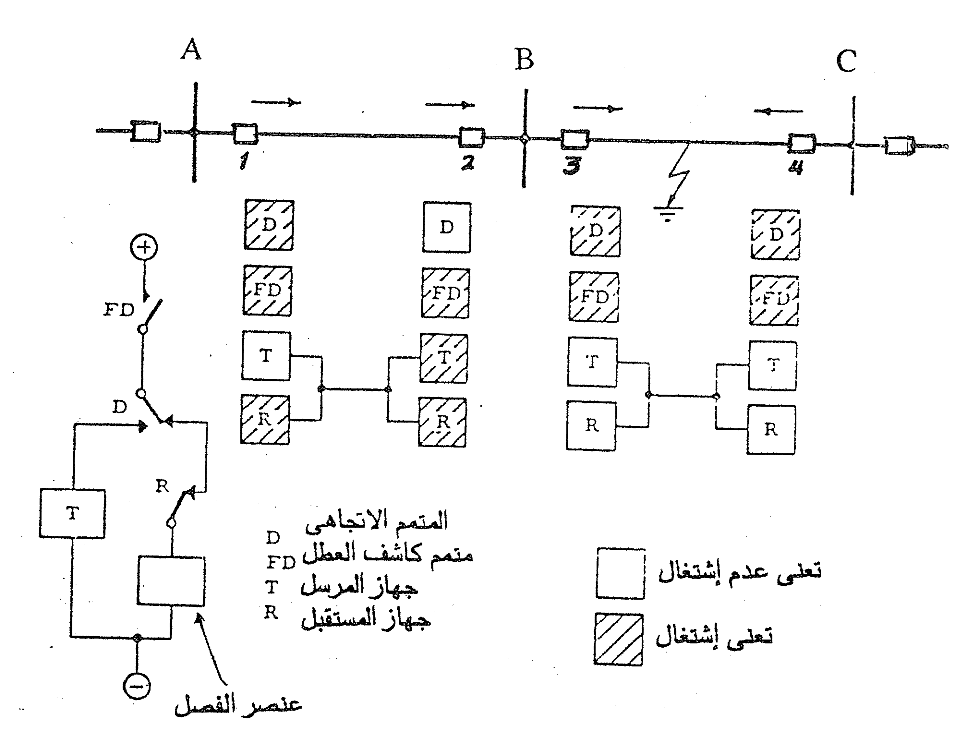
ب) المقارن الاتجاهى غير المانع *Directional comparison unblocking*

يمثل هذا النوع كما فى شكل (8-25) ويعمل حول قنوات إزاحة التردد *(Frequency-shift channels)* ويرمز لها بالرموز *FSK* ويعرف بجهاز المرسل أو المستقبل للموجات المحملة على خطوط القدرة *FSK* . وتمتاز هذه المعدات بنطاق نقل ضيق *(Narrow-band)* ممتاز عند القدرات الصغيرة . وتنقل الإشارة اللاسلكية *(RF)* بإستمرار بأحد النظامين ، وهما المانع *(Block)* وغير المانع *(Unblock)* ، وتكون الإزاحة ± 100 هرتز من مركز تردد الإشارة اللاسلكية *(RF)* ويحتاج نظام المانع الى قدرة تساوى 1وات بينما غير المانع يحتاج إلى 1 أو 10 وات . كما يكون كاشف العطل مثل المستخدم فى البند السابق .

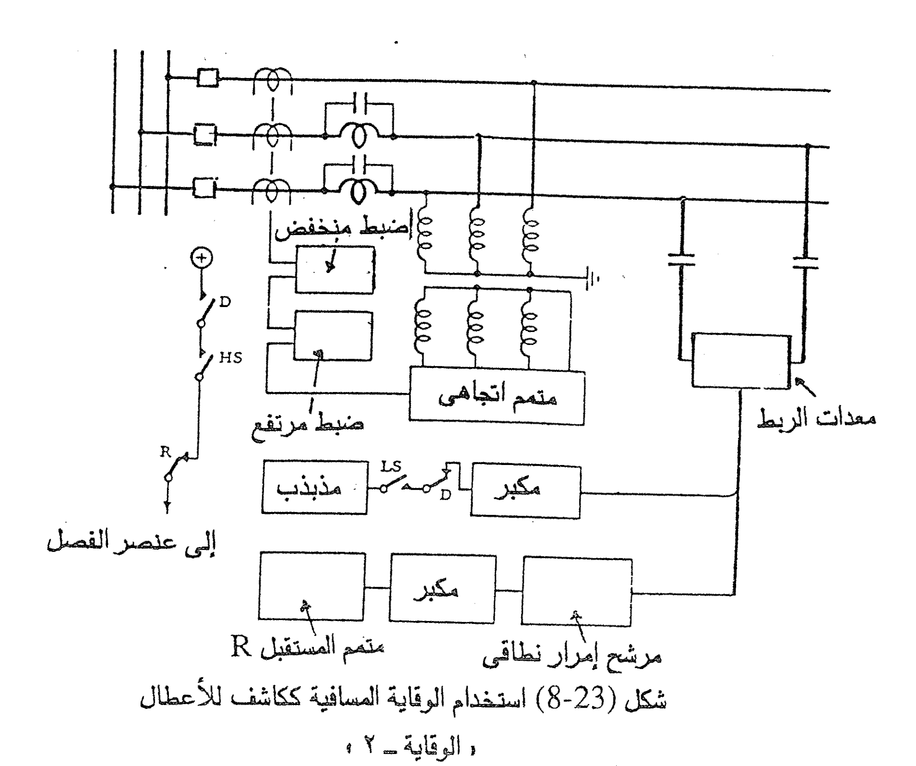
وفيما يلى توضيح لكيفية عمل الدائرة المنطقية الموضحة فى شكل (8-25) .

* فى حالة التشغيل العادى (أى لا توجد أية أعطال)

كل من جهازى إزاحة التردد $(FSK\ T_G)$ و$(FSK\ T_H)$ على كلا المحطتين H , G ينقلا فى نظام المانع *(Block mode)* ويعبر عنهم بإشارة مانع 1 بينما



شكل (22-8) الوقاية باستخدام مقارن الاتجاه



شكل (23-8) استخدام الوقاية المسافية ككاشف للأعطال

المستقبلين $(FSK\ R_G)$, $(FSK\ R_H)$ يعبر عنهم بإشارة عدم مانع O وعلى ذلك فإن مخرج الدالات $(OR\ H_2)$, $(OR\ H_1)$, $(OR\ G_2)$, $(OR\ G_1)$ يكون O

كما أن كاشفى العطل على الجانبين FD_2 , FD_1 لا يعملان وعلى ذلك يكون مدخل كل من دالتى $(AND\ H_3)$, $(AND\ G_3)$ عبارة عن O أى لا يحدث مخرج للفصل

يحتاج المتمم إلى قنوات لترددات منفصلة بين المحطتين هما F_2 , F_1 وتكون الإزاحة بينهما حوالى 1 كيلو هرتز لمعدات النطاق الضيق . وفى هذه الحالة تنقل هذه الترددات بإستمرار .

فى حالة إنهيار أحد القنوات لأى سبب ، فإن الوقاية تصبح فى حالة غلق (Lockout) من الخدمة ويعطى النظام إنذار مسموع (Sound alarm) ، فمثلا فى شكل (25-8) ، إذا فقدت إشارة المانع (Block signal) من جهازى المستقبل $(FSK\ R_G)$ أى تصبح O ، بدون إزاحة عن نظام عدم المانع ، لكى تظل O عند المحطة G ، ويصبح مدخل ومخرج الدالة $(OR\ G_1)$يساوى 1 . الآن تصبح مدخلى الدالة $(AND\ G_1)$ مساوياً 1 وبالتالى يمد المؤقت بالطاقة ، بعد مرور 150 مللى ثانية فإن المتمم يغلق ويعطى إنذار .

* عطل خارجى F_1 :

المتممات عند المحطة G : المتمم FS_1 لا يعمل ، وهذا يمنع فصل قاطع التيار رقم 1 ولكن يسمح للمرسل $(FSK\ T_G)$ للإستمرار فى نظام المانع .

المتممات عند المحطة H : تستمر إشارة المانع 1، أى لا يوجد مدخل للدالة $(OR\ H_1)$ ولا يوجد مخرج . وهكذا فإن المدخل السفلى لدالة $(AND\ H_3)$ يكون O ولا يوجد له مخرج حتى لو عمل كاشف العطل FD_2 . وهكذا يمنع الفصل عن طريق إشارة الفصل من المحطة G . ويعتبر تشغيل FD_2 هو مساعد المرسل $(FSK\ T_H)$ ليصبح عدم مانع .

بالرجوع عند المحطة G : تستقبل إشارة عدم مانع من المحطة H عن طريق المستقبل $(FSK\ R_G)$ لتشغيل دالة $(OR\ G_2)$ ولكن الدالة $(AND\ G_3)$ لا يمكن أن

تعمل حيث أن المتمم FD_1 لم يعمل .

* عطل فى المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية F_2 :

المتممات عند المحطة G : المتمم FD_1 يعمل على جعل $(FSK\ T_G)$ فى حالة عدم مانع وتصبح مدخل للدالة $(AND\ G_3)$ فى حالة 1 .

المتممات عند المحطة H : المتمم FD_2 يعمل على جعل $(FSK\ T_H)$ فى حالة مانع ويصبح مدخل الدالة $(AND\ H_3)$ فى حالة 1 .

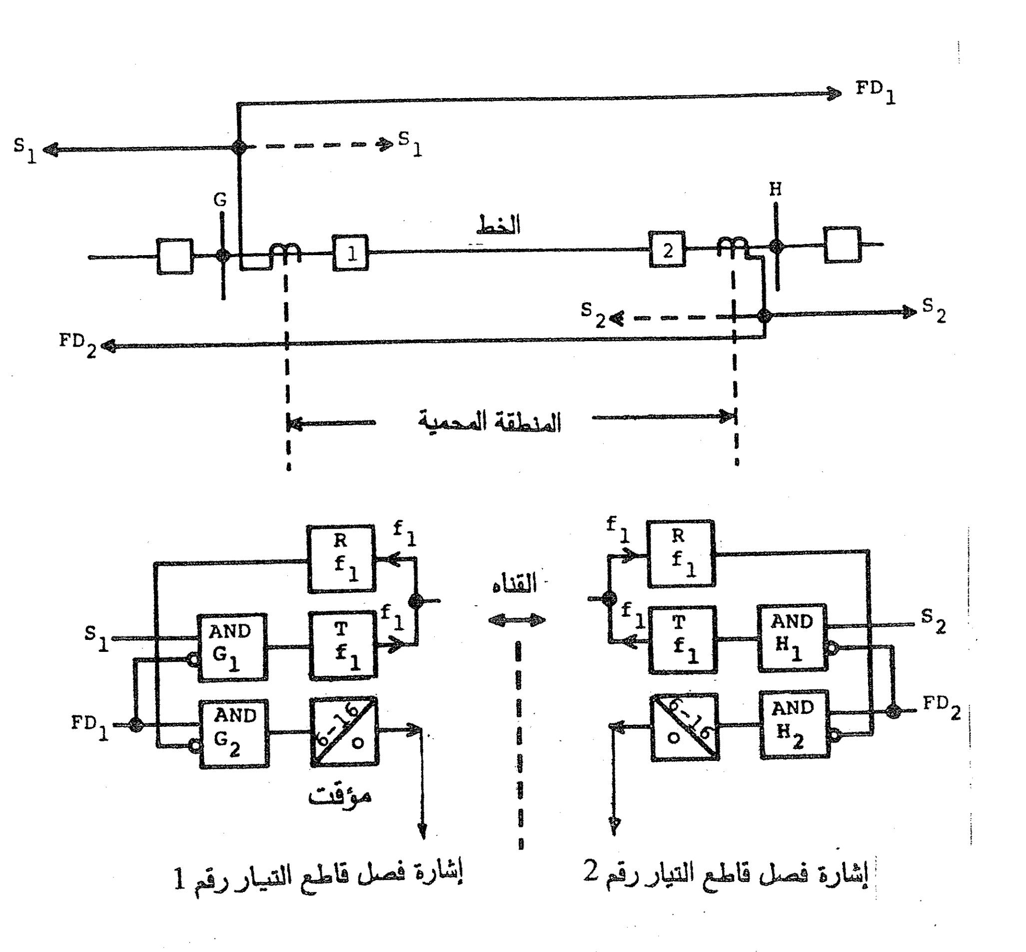
وعند المحطتين H , G : يكون التشغيل متماثلاً ، ولذلك ستأخذ فى الإعتبار المحطة G . ونحصل على إشارة فصل قاطع التيار رقم 1 بعد مرور زمن من 4 إلى 8 مللى ثانية ، عن طريق تشغيل المؤقت من الدالة $(AND\ G_3)$ والتى لها مدخلين : "1" من تشغيل FD_1 ، "1" من إشارة عدم المانع . وتعتبر إشارة عدم المانع غير ضرورية للحصول على إشارة فصل قاطع التيار . كما أن عدم وجود إشارة المانع تعمل على تشغيل دالة $(OR\ G_1)$ وتحول حالة الدالة $(AND\ G_1)$ إذا كانت إشارة عدم المانع متأخرة أو لم تستقبل بسبب وجود العطل . نحصل على مخرج من الدالة $(AND\ G_2)$ ثم الدالة $(OR\ G_2)$ وعن طريقها مع FD_1 نحصل على مخرج من الدالة $(AND\ G_3)$

وعلى ذلك يعمل هذا النظام كمانع *(Blocking)* عندما لا يراد إشارة قناة لفترة زمنية 150 مللى ثانية ، ثم يتحول إلى نظام تحويل إشارة الفصل *(Transfer Trip)* . ويستخدم فى قنوات تحميل خطوط القدرة والتى لا تستعمل نظام «تحويل إشارة الفصل» .

ج) المقارن الإتجاهى لعدم تجاوز الحد وتحويل إشارة الفصل

Directional comparison underreaching transfer trip

فى هذا النظام تعمل كاشفات الحد *(Overreach)* للجانب البعيد لجميع حالات التشغيل ، لذلك تستخدم وحدة وقاية مسافية بإستخدام إتجاه الزاوية للمرحلة الأولى *(Phase directional distance zone 1)* . وتعتبر متممات الوقاية ضد زيادة التيار اللحظية ، والتى تتغير مع قيمة التيار ، كمعدة وصول إلى الحالة ، والتى تصبح معقدة، حيث يكون من المستحيل فى بعض الحالات التأكد ان كانت هذه المتممات



شكل (8-24) المقارن الاتجاهى المانع

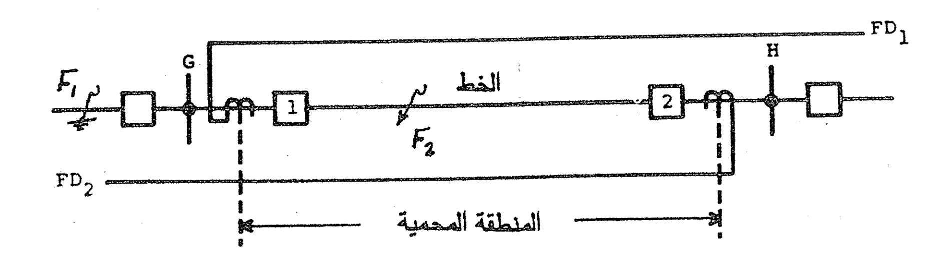
متممات وقاية مسافية للأعطال الأرضية (Distance ground relay) ويضبط على المرحلة الأولى .

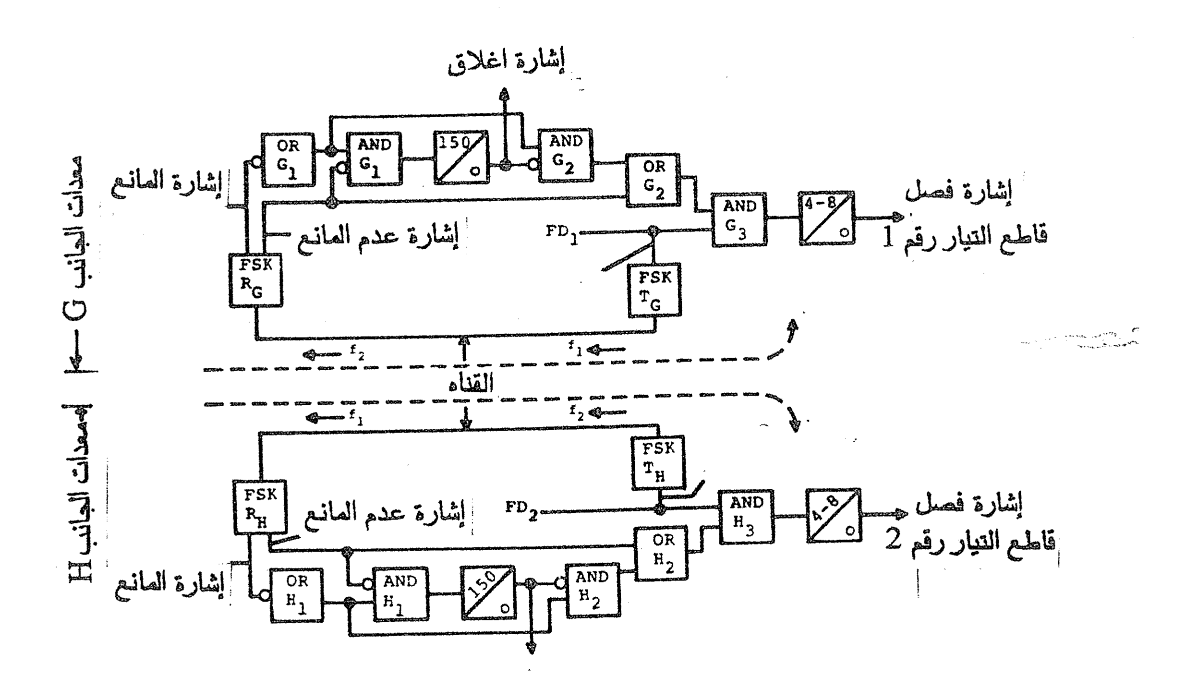
ويوضح شكل (8-26) تمثيلاً لهذا لنظام ، والذى ينقسم إلى : عدم الإجتياز (Nonpermissive) والاجتياز (Permissive) . عند حدوث عطل خارجى فإن متممات كاشف العطل لا تعمل . وعند حدوث عطل فى المنطقة الداخلة فى مجال الوقاية فإن كاشف العطل FD_1 عند المحطة G وكاشف العطل FD_2 عند المحطة H يفصلا مباشرة فى المساحة المتراكبة (Overlap) . تحول كاشفات العطل ، لكل جانب ، المرسل الخاص بها إلى حالة الفصل . والذى يجهز مخرج فصل عند المستقبل لفصل قاطع التيار مباشرة وبدون أى تأخير زمنى .

يمكن حدوث تشغيل خاطئ للنظام إذا تعرض للحالات العابرة (Transient) ويمكن إضافة كاشف أعطال يعمل عند تجاوز الحد (Overreaching) وذلك لمراقبة قناة الإتصال ، وهذا ما يوضحه التمثيل السفلى فى شكل (8-26) حيث تحتاج إشارة الفصل خلال قناة الإتصال لكاشف عطل يعمل عند حد التجاوز وبذلك نحصل على إشارة مخرج لفصل قاطع التيار أما عن طريق دالة (AND G) أو دالة (AND H) أو الإثنين معاً .

د) المقارن الاتجاهى لتجاوز الحد ولتحويل إشارة الفصل
Directional comparison overreaching transfer trip

يوصى بعدم إستعمال قنوات الموجات المحملة على خطوط القدرة مع هذا النظام ، ويجب إستقبال الإشارة من النهاية البعيدة للخط لإستخدامها فى الفصل ، وفى حالة الموجات المحملة على خطوط النقل فإن الإشارة يحدث لها قطع (Interrupted) أو قصر (Shorted) عند حدوث العطل . وعلى ذلك يستخدم هذا النظام عادة طنين سمعى (Audio tones) على خطوط التليفونات أو تضمين (Modulate) على قنوات موجات دقيقة (Microwaves) . ويستخدم طنين «حائل ـ الفصل» (Trip-guard) . يكون الحائل كمراقب . فقد القناة (أى الحائل) لحوالى 150 مللى ثانية يعمل على منع متممات الوقاية من إعطاء إشارة الفصل أو الإنذار . عند عودة القناة (أو إشارة الحائل) فإن المتممات تجهز للعمل بعد 150 مللى ثانية .





شكل (8-25) المقارن الاتجاهى غير المانع

تكون كاشفات الأعطال عبارة عن وقاية ضد زيادة التيار الإتجاهى اللحظى (للأعطال الأرضية) وقاية مسافية إتجاهية (لأعطال الأوجه) ، وجميعها تعمل بكفاءة لحد التجاوز *(Overreach)* للنهايات البعيدة للخط . ويوضح شكل *(8-27)* تمثيلاً لهذا النوع .

* عند حدوث عطل خارجى F_1 :

المتممات عند المحطة G : لا يعمل FD_1 ، ولا نحصل على إشارة فصل . ويظل عمل المرسل T_G مستمراً بإشارة الحائل .

المتممات عند المحطة H : يعمل FD_2 ولكن لا يستطيع الفصل ، كما أن المستقبل R_H لا يعطى إشارة مدخل لدالة *(AND H)* فى حالة إشارة الحائل . ولا يعمل FD_2 على إزاحة المرسل T_H لتحويله إلى نظام الفصل ، ولذلك عند المحطة G فإن هذا المستقبل يمد الدالة *(AND G)* بالطاقة ولكن كما ذكرنا سابقاً فإن FD_1 لم يعمل .

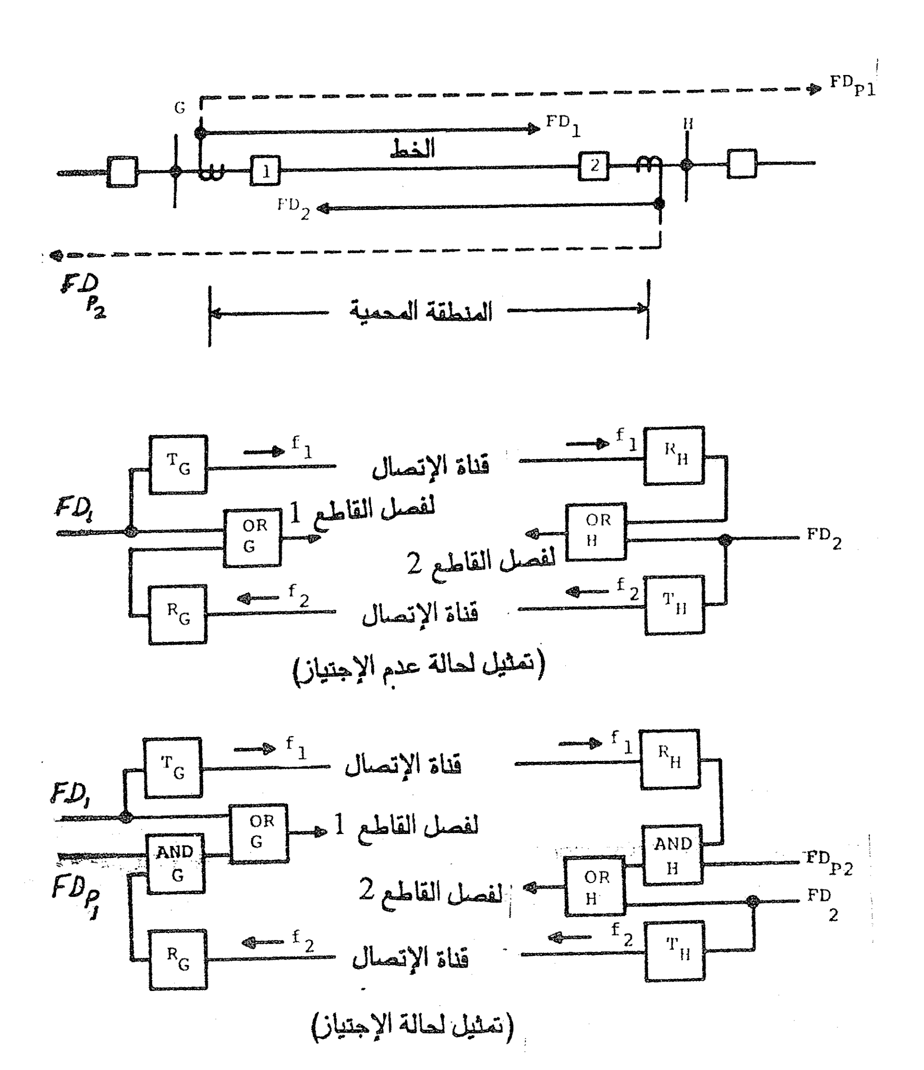
وعلى ذلك فإن كلا الجانبين يحدث له منع من الفصل عند حدوث أعطال خارجية .

* عند حدوث عطل داخلى F_2

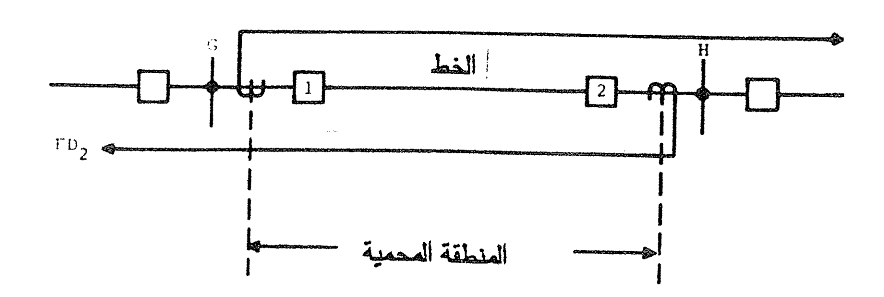
الحالة تكون متماثلة على الجانبين ، ويعمل كل من FD_2 , FD_1 ويحولا المرسلين الى حالة الفصل ، تستقبل الإشارة عند المستقبل البعيد والذى يجهز مدخل للدالة FD_1 , FD_2 لإعطاء إشارة فصل لحظى لقاطعى التيار . ويكون التأخيرالزمنى المحصور بين *4* إلى *8* مللى ثانية نتيجة المكونات المختلفة بالدائرة .

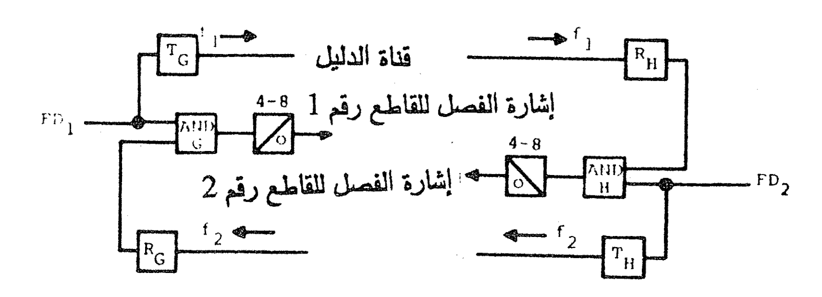
2) الوقاية باستخدام مقارن الزاوية *Phase Comparison Protection*

تعتمد فكرة هذا النوع على مقارنة زاوية التيار على جانبى الخط ، ففى حالة التشغيل العادية أو فى حالة اعطال خارج الخط يكون التياران ،على الجانبين ، غالباً فى إتفاق وجهى *(In phase)* . إذا كانت الأطراف الثانوية لمحولات التيار متصلة بطريقة نمطية متشابهة على كل جانب (أى يكون طرف البداية فى إتجاه جانب القضبان الرئيسية فتكون التيارات الثانوية ، فى هذه الحالة ، غالباً فى إتجاهين متضادين ، بينما عند حدوث عطل داخل المنطقة المحمية ، أى على الخط ، فإن إتجاه التيار عند الجانب B ، فى شكل *(8-28)* ، ينعكس وتصبح التيارات الثانوية فى

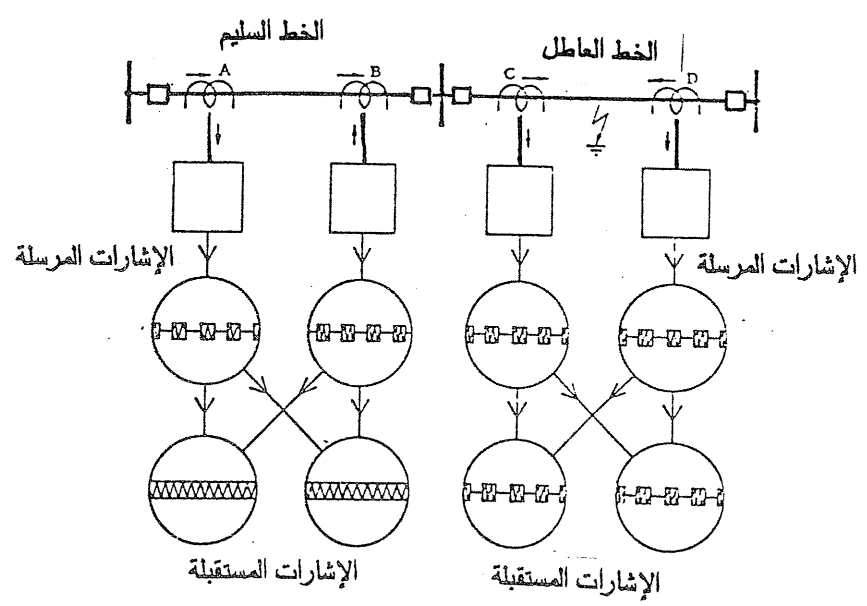


شكل (8-26) المقارن الاتجاهى لعدم تجاوز الحد وتحويل إشارة الفصل





شكل (8-27) المقارن الاتجاهى لتجاوز الحد ولتحويل إشارة الفصل



شكل (8-28) الوقاية باستخدام مقارن الزاوية

إتفاق وجهى *(In phase)* وهذا هو أساس فكرة مقارن الزاوية . ويوضح شكل *(8-29)* تتابع خطوات مقارن الزاوية بإستخدام الموجات المحملة . يتم توحيد نصف الموجة *(Half wave rectified)* للتيار الثانوى لمحولات التيار على الجانبين ، ثم تحويلهم إلى موجة مربعة . وخلال نصف الموجة الموجبة للموجة المربعة ترسل إشارة ذات تردد عالى على القناة . ويكون لهذه الإشارة قيمة وتردد منتظم . وتستخدم الإشارة لمنع الفصل ويشبه النظام عندئذ نظام المانع فى «نظام الحالة» .

عند حدوث عطل خارجى ، كما فى شكل *(8-29)*أ فإن التيارين على جانبى الخط، الموحدين متضادين ، وعلى ذلك فإن الإشارات ذات الترددات العالية تستقبل من كلا الجانبين ، ويستقبل المميز على كل جانب الإشارات ذات الترددات العالية المستمرة وهكذا فإن الكاشفات على الجانبين تظل تعطى إشارة مانع فصل مستمرة .

أما عند حدوث عطل داخلى ، فإن قناة التحميل تعطى إشارة توصيل ثم فصل ، فى نفس الوقت ، عند الجانبن والتى تكون فى إتفاق وجهى مع تيارات العطل ، كما فى شكل *(8-29)* ب . يؤدى هذا إلى حدوث فجوة عندما لا تجد الكاشفات أى إشارات من الجانبين . خلال هذه الفجوة فإن الكاشفات لا تمنع الفصل وفى نفس الوقت يحدث فصل للجانب الآخر .

ويوضح شكل *(8-30)* ان المعدات عند أحد الجانبين ترسل إشارة مانع تيار الموجة المحملة *(Blocking carrier current signal)* خلال نصف موجة الدورة ، ثم فى النصف دورة التالى يقف الإرسال وتحاول المعدات أن تفصل القاطع ، وإذا إستمر عدم إستقبال تيار الموجة المحملة من الجانب الآخر من الخط خلال هذا النصف من الدورة ، فإن المعدات تعمل وتفصل قاطع التيار ، ولكن إذا تم إستقبال تيار الموجة المحملة بطئ من الجانب الآخر من الخط (المرسل على نفس الجانب من الخط) فلن يفصل القاطع .

يتكون متمم وقاية مقارن الزاوية ذو الموجة المحملة *(Phase comparison carrier relay)* من العناصر التالية والموضحة بشكل *(8-31)* :

* وحدة البداية *(Starting unit)* .
* المضمن *(Modulator)* .

* المميز (Discriminator) .
* عنصر المخرج (Tripping element) .

فيما يلى توضيح لكل عنصر .

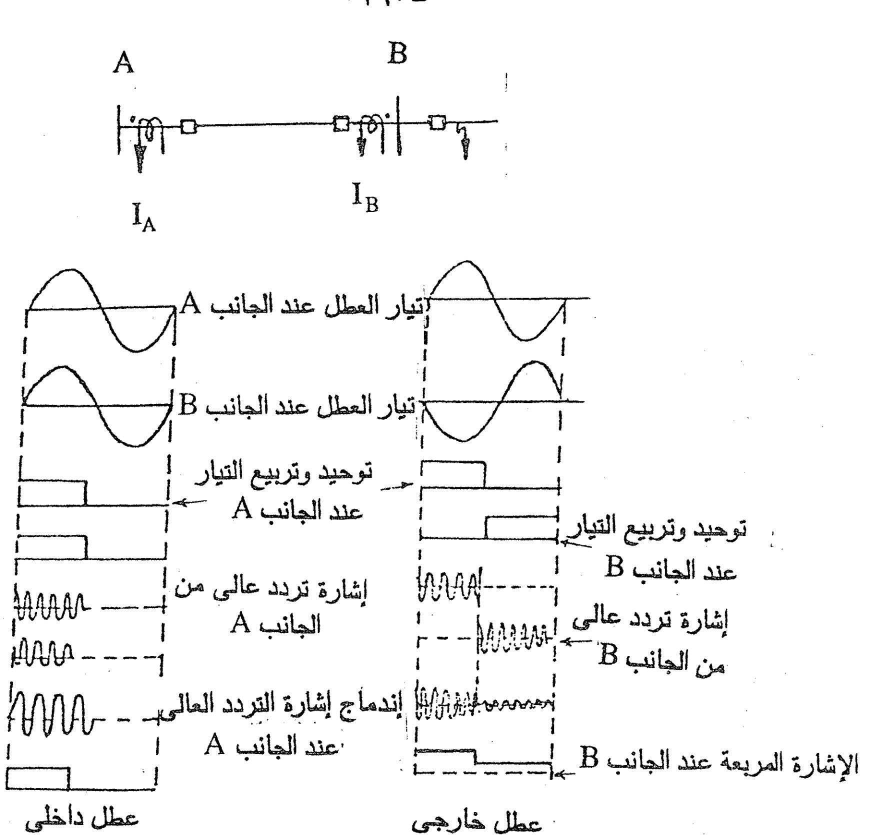
أ) وحدة البدء Starting unit

لا يستخدم ، فى العادة ، ثلاثة متممات وقاية أو ثلاثة وحدات بدء للتركيب على الثلاثة أوجه ، لنظام ثلاثى الأوجه ، ولكن يستخدم متمم واحد لتقليل التكاليف ويكون مدخله عبارة عن تيارات الثلاثة أوجه . ويتم تحويلهم من خلال عنصر معين للحصول على مخرج يتناسب مع تيارات الثلاثة أوجه . وهذا العنصر عبارة عن دائرة مرشح تتابع (Sequence filter circuit) ، الذى يتغذى من التيارات I_A , I_B , I_C ونحصل منها على مخرج بدلالة I_1 (مركبة التتابعية الموجبة) ، أو I_2 (مركبة التتابعية السالبة) أو مخرج بدلالة I_1 , I_2 معاً . فمثلاً أحد الأنواع شائعة الإستخدام نحصل منه على ثلاثة مخارج هم I_1 , I_2 , $(5 I_2 - I_1)$. توجد أنواع أخرى يختلف بها الرقم 5 وخاصة عندما تكون تيارات الحمل عالية جداً بالنسبة لتيار العطل الداخلى . ويوضح شكل (8-32) مكونات وحدة بدء المتمم ، والتى تتكون من دائرة التتابعية الموجبة والسالبة ومرشحات وموحدات وعنصر الضبط المنخفض (Low-set element) وعنصر الضبط المرتفع (High-set element) .

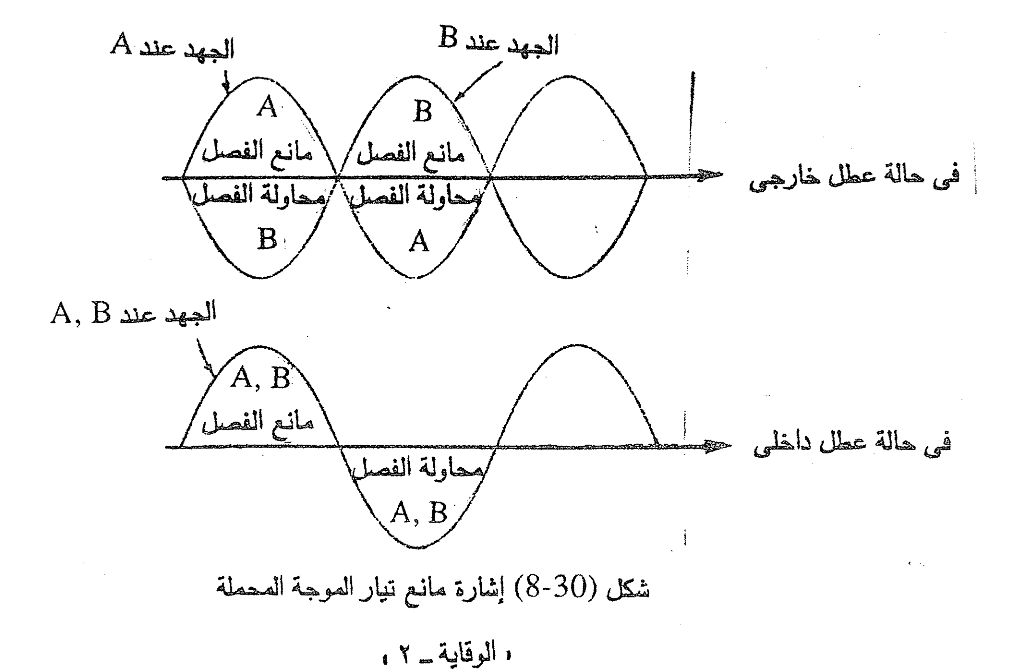
ويعتبر عنصرى الضبط المنخفض والمرتفع هما قلب وحدة البدء حيث أنهما يساعدان على حفظ تتابع التشغيل للنظام . فيعمل عنصر الضبط المنخفض على بدء تشغيل المضمن أى بدء الموجات المحملة (Carried start) للخط وتكون دائرة فصل قاطع التيار فى حالة مانع (Blocked) . بينما يعمل عنصر الضبط العالى (والذى غالباً يضبط على 1.5 مرة من قيمة ضبط عنصر الضبط المنخفض) من خلال المميز (أو المقارن) لتشغيل دائرة فصل قاطع التيار ، كما فى شكل (8-33) ويوضح شكل (8-34) مكونات وحدة البدء فى شكل (8-32) .

ب) المضمن Modulator

يتغذى المضمن ، كما فى شكلى (8-34) , (8-31) بمركبتى التتابعية السالبة والموجبة للتيار ، والنوع الشائع أن يكون المدخل يساوى $(5 I_2 - I_1)$ ، ويكون عمل المضمن توصيل وفصل مذبذب الترددات اللاسلكية R.F oscillator لخط الجهد



شكل (8-29) خطوات مقارن الزاوية باستخدام الموجات المحملة



شكل (8-30) إشارة مانع تيار الموجة المحملة

العالى . ويحدث هذا تبعاً لقطبية الإشارة الناتجة من دائرة مركبات التتابعية ، ويتكون المضمن من دوائر تشغيل *(Switching circuits)* متصلة على التوالى ولها كسب *(Gain)* عالى ، لعمل قبض *(Clip)* وتربيع *(Square)* لإشارة المدخل ، وللسماح للتحكم الملائم لعنصر البداية ذى الضبط المنخفض ... والتحكم معناه ، منع إشتغال المضمن إلى أن يعمل عنصر الضبط المنخفض . إذا إشتغل عنصر الضبط المنخفض، ولكن مع غياب إشارة المدخل ، من مرشح التتابع ، للمضمن ، فإن حالة المضمن تنعكس ويستمر نقل التحميل . وهذا يؤدى الى إستقرار منع الموجات المحملة بعد زوال العطل ، ويكون المضمن جاهزاً للعمل لحظياً إذا حدث العطل خلال هذه الدورة وذلك لأن المضمن لم يحدث له منع من خلال عنصر الضبط المنخفض . وعلى ذلك يكفى لتشغيل المضمن إشارة مدخل صغيرة من مرشح التتابعية .

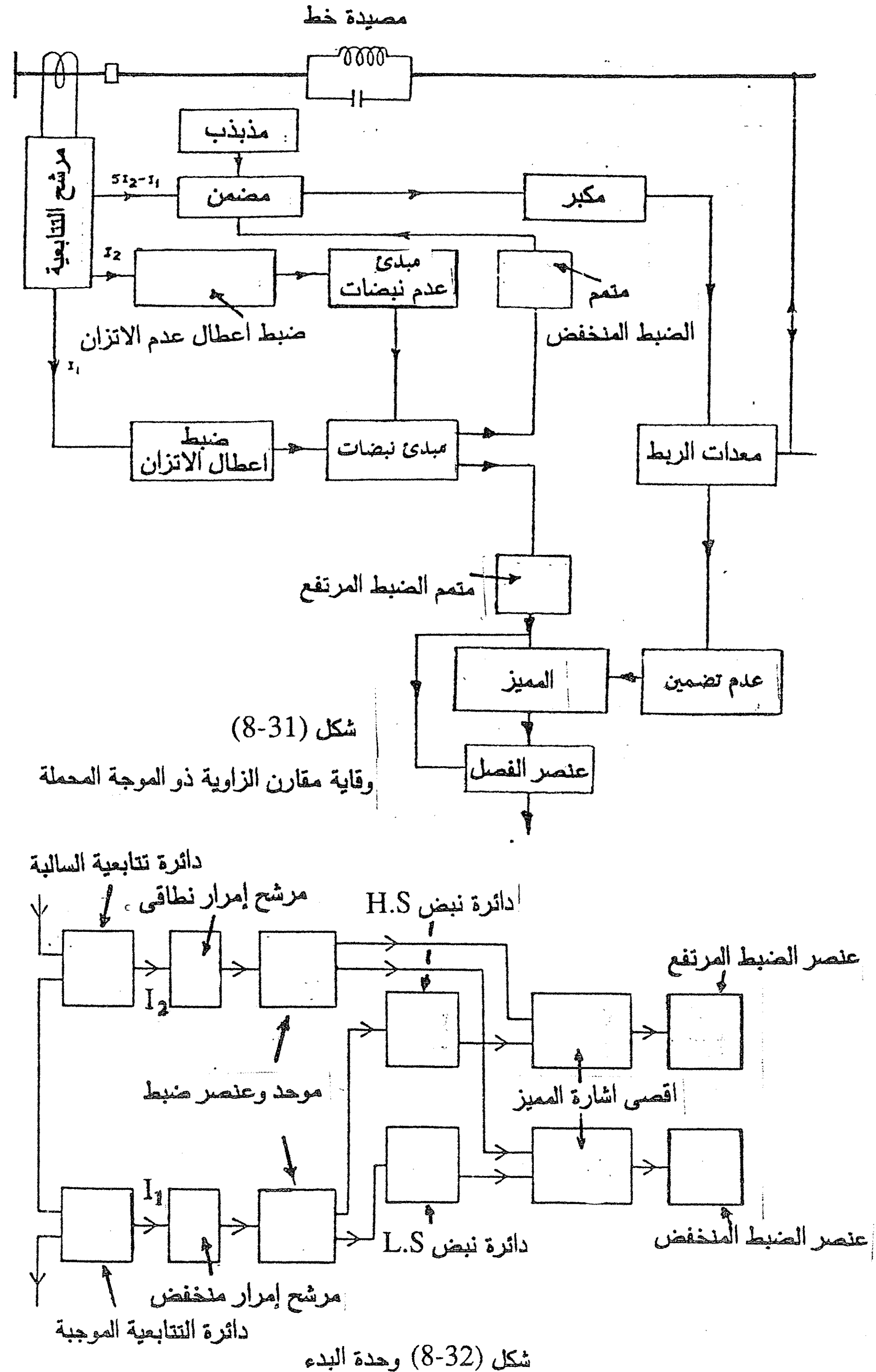
ويلاحظ فى شكل *(8-34)* إستخدام مرشحات الإمرار النطاقى *(Band pass filters)* لدائرتى المضمن ومركبة التتابعية السالبة ، ويمكن تلخيص الغرض من إستخدام هذه المرشحات فى الآتى :

* تقليل تأثير مركبة التيار المستمر للتيارات العابرة *(D.C Transients)* عند مدخل دائرة المضمن ، حيث تنتج التيارات العابرة بالملفات الابتدائية لمحولات التيار نتيجة عمليات الفصل والتوصيل لقاطع التيار ونتيجة الأعطال ...
* تقليل توافقيات الترددات العالية *(High frequency harmonics)* عند مدخل دائرة المضمن .
* إبطال تأثير تشبع محولات التيار .

ج) المميز *Discriminator*

يتلخص عمل المميز فى قياس إشارة عدم التضمين *(Demodulated signal)* والحصول منه على إشارة مخرج عندما تكون زاوية الإختلاف بين التيارين على جانبى الخط أقل من قيمة معينة (وهى زاوية الفصل *Tripping angle*) .

ونظرياً ، نجد زاوية الإختلاف $180°$ *(Phase difference)* للأعطال الخارجية، ولكن مع الأخذ فى الإعتبار جميع أنواع الأعطال والعوامل الأخرى المؤثرة فإن حدود زاوية الفصل تكون $\pm 150°$ خلال دورة إستقبال التحميل ، أما إشارة المدخل تكون



شكل (31-8)

وقاية مقارن الزاوية ذو الموجة المحملة

شكل (32-8) وحدة البدء

مساوية بعض المستويات الثابتة وتساوى الصفر عند عدم إستقبال إشارة تحميل .

وعند حدوث عطل خارجي ، فإن عنصر الضبط العالى يعمل على تجهيز المميز لعمليات القياس مع إعتبار أن يكون النظام فى حالة عدم إشتغال وتكون إشارة المانع بقيمتها القصوى ولا تحذف حتى بعد وصول إشارة عدم التضمين .

كما يكون المضمن مسئولاً عن القيمة المتوسطة *(Average value)* للإشارة ويتحول إلى حالة التوصيل *ON* عند لحظة الوصول إلى قيمة زاوية الفصل ، والتى تكون عادة 150° .

ولتحقيق الشرطين السابقين فإن الإشارة تعكس ليكون مدخل المضمن يساوى صفر عندما تكون زاوية الإزاحة تساوى 180° . ويمكن وصف إشارة مدخل المضمن تبعاً للمعادلة الآتية :

$$V_{av} = V / [1 - (\frac{\phi}{180^\circ})]$$

ويعمل المميز بالقيمة المتوسطة لإشارة المدخل ومن المعادلة السابقة يتحقق الجدول التالى :

ϕ	V_{av}
0	V
90°	V/2
150°	V/6
180°	0

ولزيادة حساسية المميز عند زاوية الفصل ، فإنه من الضرورى حفظ قيم متوسط المدخل *V/2* عند حوالى 150° . ولتحقيق ذلك فإن المعادلة الخطية السابقة لا تستخدم . وإنما نختار علاقة غير خطية بين V_{av} والزاوية ϕ ، والتى يمكن الحصول عليها عن طريق التفاضل غير الكامل *(Imperfect differentiation)* لجهد مخرج دائرة عدم

التضمين ، كما فى شكل (8-35)أ . ويوضح شكل (8-35)ب العلاقة الخطية وغير الخطية بين f , V_{av} وتكون المعادلة غير الخطية كالآتى :

$$V_{av} = \frac{V(1 - e^{-\frac{180 - \phi}{\phi c}})}{(1 - e^{-180/\phi c})}$$

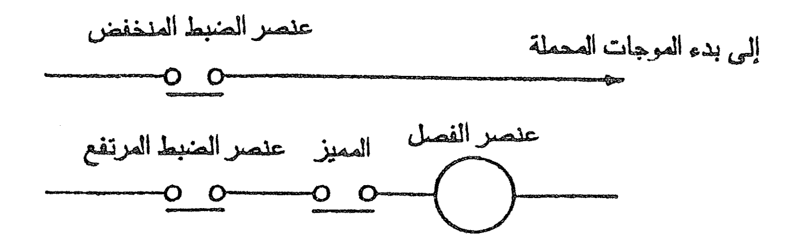
وبالتعويض عن قيمة الجهد المتوسط بالقيمة $V/2$ وبالزاوية ϕ بالقيمة $150°$ نحصل على قيمة ϕ_C تساوى $46°$

بفرض أن T^1 هو ثابت الزمن لدائرة المفاضل (أى CR للدائرة) وبالتالى يمكن الحصول على T^1 من العلاقة :

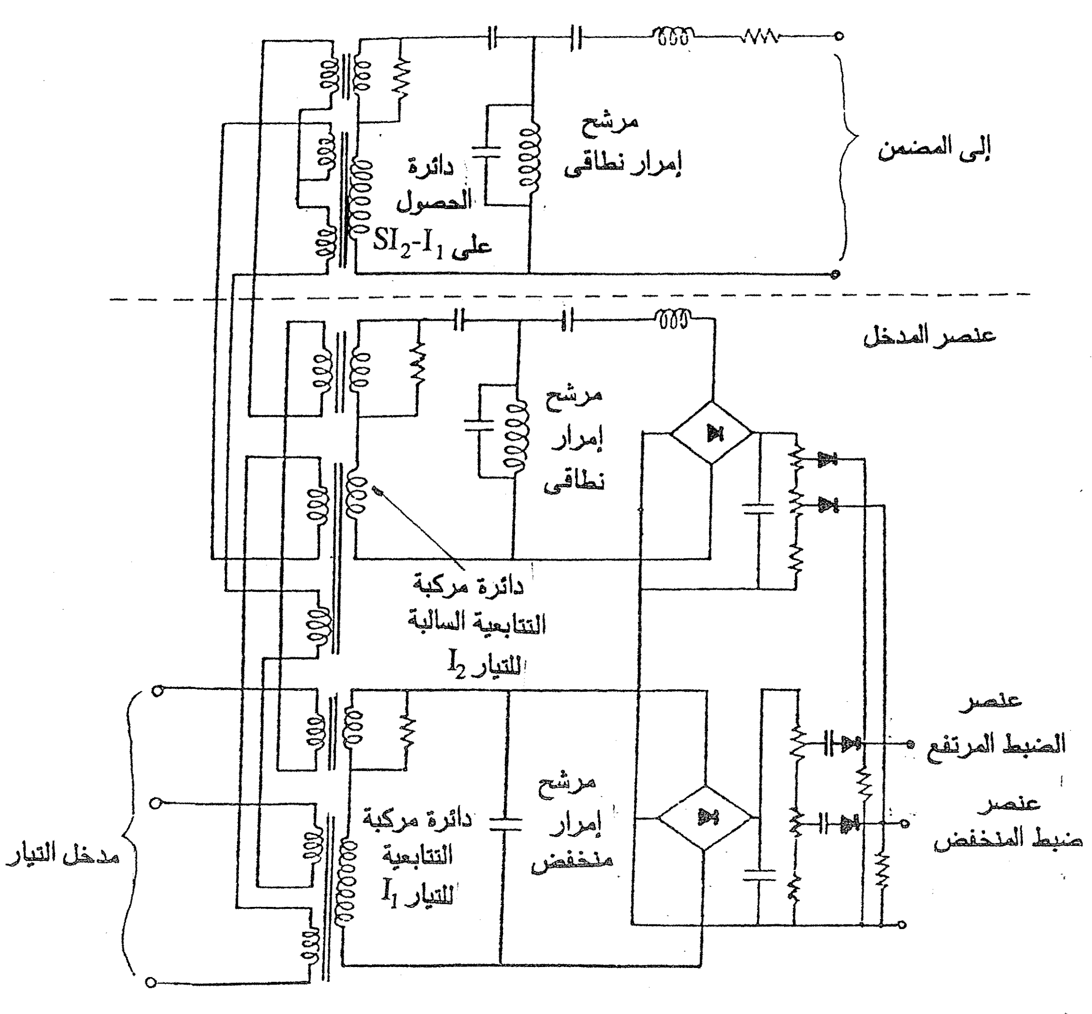
$$T^1 = \frac{\phi_c \, ° T}{360°}$$

حيث T هى زمن دورة الموجة المربعة لمخرج المميز والموضحة فى شكل (8-35)أ

المميز عبارة عن مكبر له كسب عالى وخاصة عندما يكون مدخله $V_{av} = V/2$ بالإضافة على دائرة تنعيم للتخلص من التوافقيات فى موجة المدخل . علماً بأن تصميم هذه الدائرة صعب إذا كانت درجة التنعيم عالية ، وزمن الإستجابة عالية *(Response time)* ويعمل كاشف المستوى (المقارن) من النوع *(Block average type)* بعد إعادة الشحن والتفريغ خلال دورة التطابق *(Coincidence)* وعدم التطابق *(non-coincidence)* لإشارتى جانبى الخط ، أو يعمل بعد زمن فراغ الموجات المحملة ويعطى إشارة الفصل لحظياً ، بحيث يتعدى الفراغ زاوية $30°$ كهربية ويعرف هذا النوع بالزمن المباشر . لذلك يجب الإعتناء عند إستخدام هذه الطريقة ، لأن فترة زمن تشغيل المميز صغيراً جداً . وبذلك فإن كلا من نوعى المقارن (المميز) يقارن سرعة التشغيل للأعطال الداخلية حيث أن النوع الأول ، أى متوسط المربع ، له خاصية إستجابة بحيث يزيد زمن التشغيل تدريجياً إلى مالانهاية للأعطال الهامشية . بينما النوع الآخر ، أى نوع الزمن المباشر *(Direct timing type)* ، فإنه يكشف الأعطال التى تحدث خلال دورة واحدة *(one cycle)* والأعطال الهامشية المشكوك فيها لزمن 20 مللى ثانية .



شكل (8-33) تشغيل دائرة الفصل من خلال «المميز»



شكل (8-34) مكونات وحدة البدء الموضحة بشكل (8-32)

خاصية الفصل *Tripping characteristic*

تعتمد خاصية الفصل لمقارن الزاوية المستخدم ، على زاوية التيار . فمن الناحية النظرية تكون منطقة الفصل للزاوية ϕ تساوى $180°$. ولكن عملياً ونتيجة للعوامل التالية ، فإن المتمم يعمل فى منطقة إستقرار محددة :

* سرعة إمتداد إشارة الموجة المحملة التى تعطى زيادة فى إزاحة الزاوية الظاهرية بحوالى واحد درجة لكل *15* كم .
* إزاحات الزاوية بين التيارات على جانبى الخط نتيجة تيار الشحن السعوى للخط .
* خطأ الزاوية *(Phase angle error)* للمميز عند جانبى الخط .

تكون حدود زاوية الفصل فى التصميمات الحديثة $\pm 150°$ أى تحفظ زاوية $30°$ للإستقرار على أى من الجانبين كمانع للخط نظرياً .

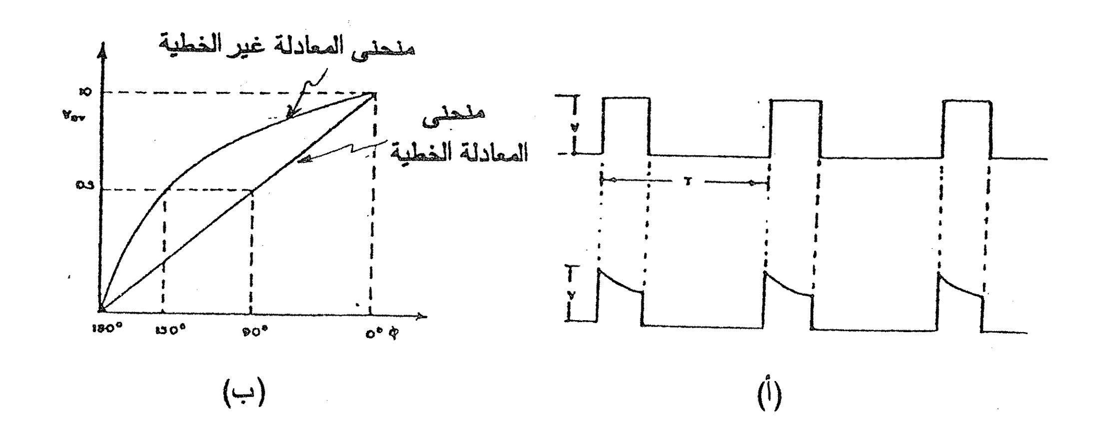
ويوضح شكل *(8-36)* خاصية الفصل لمتمم الموجات المحملة ذى مقارن الزاوية *(Phase comparison carrier relay)* ، وعلى ذلك فمثلاً لخط يتعدى طوله *150* كم ، فمن الضرورى زيادة زاوية الإستقرار للمتمم ، بالإضافة إلى أنه يجب عمل حسابات تيارات القصر للتأكد من تحقيق عمل المتمم .

وفيما يلى توضيح بإختصار لمتمم الموجات المحملة ذى مقارن الزاوية بإستخدام عناصر منطقية *(Logic)* ، والموضح بشكل *(8-37)* ، ويتكون النظام على جانبى الخط من :

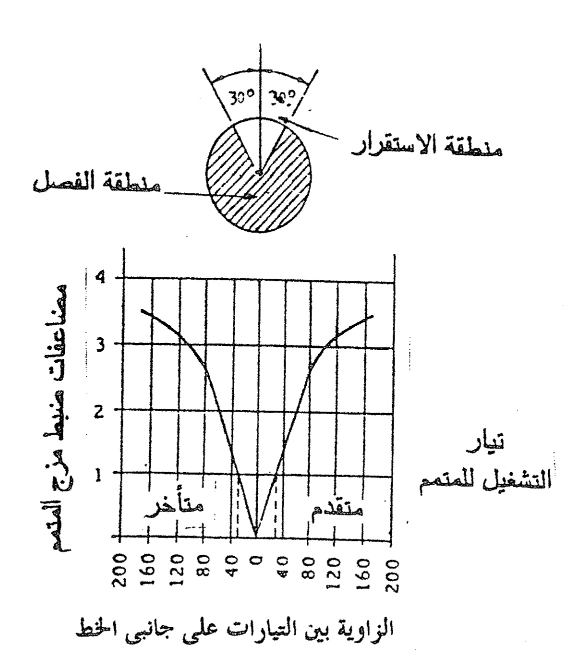
* FD_T , FD_S كاشفى خطأ (FD_S أكثر حساسية) .
* R إستقبال .
* T إرسال .
* مؤقت .
* دالتى *AND*
* مكبر موجات مربعة *(Squaring amplifier)*

عند حدوث عطل على يمين القضيب H

FD_{1T}, FD_{1S} : يعملان ويعطيان إشارة مدخل تساوى *"1"* للدالتين , $AND\ G_1$ $AND\ G_2$.



شكل (35-8) التفاضل غير الكامل



شكل (36-8) خاصية الفصل لمتمم مقارنة الزاوية ذى الموجة المحملة

FD_{2T}, FD_{2S} : يعملان ويعطيان إشارة مدخل تساوى 1 ، للدالتين $AND\ H_1$ ، $AND\ H_2$

ويعطى مكبر الموجةالمربعة ، على الجانب H ، إشارة مدخل تساوى 1 للدالة (AND_{H1}) بالإضافة إلى إشارة تساوى 1 أيضاً لنفس الدالة من FD_{2S} وبذلك نحصل على مخرج من المرسل T_H عبارة عن تردد F_2 ينقل إلى المستقبل R_G على الجانب G هذه الإشارة تلغى عند مدخل الدالة AND_{G2} . تبعاً لقطبية الإشارة ، كما فى شكل $(8\text{-}37)$أ ، وعلى ذلك فإن الدالة AND_{G2} يمكن أن تمد بالطاقة فقط لفترة زمنية صغيرة جداً ، حيث أنه يجب أن تستمر المداخل للدالة لفترة زمنية حوالى 4 مللى ثانية حتى تحصل على مخرج . وفى حالة العطل الخارجى فإن التيار الداخل للخط عند القاطع رقم 1 يكون فى إتفاق وجهى مع التيار الخارج عند القاطع رقم 2 . ولو نتتبع الموجات بشكل $(8\text{-}37)$أ نلاحظ عدم الحصول على إشارة مخرج لفصل قاطع التيار

عند حدوث عطل داخلى بالمنطقة الداخلة فى مجال الوقاية :

تعمل جميع كاشفات الأعطال على الجانبين . التيار المار بالمتمم على الجانب H ينعكس ، وعلى ذلك فإن الإشارة المستقبلة ومدخل الدالة AND_{G2} يكونان فى إتفاق وجهى مع الموجة المربعة الناتجة من المتمم عند القاطع رقم 1 . نتيجة ذلك الحصول على مخرج مربع موجب من الدالة AND_{G2} وبعد مرور 4 مللى ثانية نحصل على إشارة فصل للقاطع رقم 1 . ويوضح شكل $(8\text{-}37)$ب تتابع الموجات عند حدوث عطل داخلى . ويحدث نفس السلوك للمتمم على الجانب الآخر .

وفيما يلى أمثلة عملية لمتممات الدليل :

1) يوضح شكل $(8\text{-}38)$ متمم وقاية تفاضلى ذات سلك الدليل ـ من النوع الكهرومغناطيسى ، صناعة سويسرية ، يمكن تركيبه على شبكة كهربائية ، ثلاثية الأوجه ، معزولة أو مؤرضة تأريض مباشر أو من خلال مقاومة وهو يكشف جميع أعطال الأوجه والأرض . وعند تركيب متمم على كل جانب من الخط يجب أن يتصلا بسلكى الدليل .

ويتكون المتمم من :

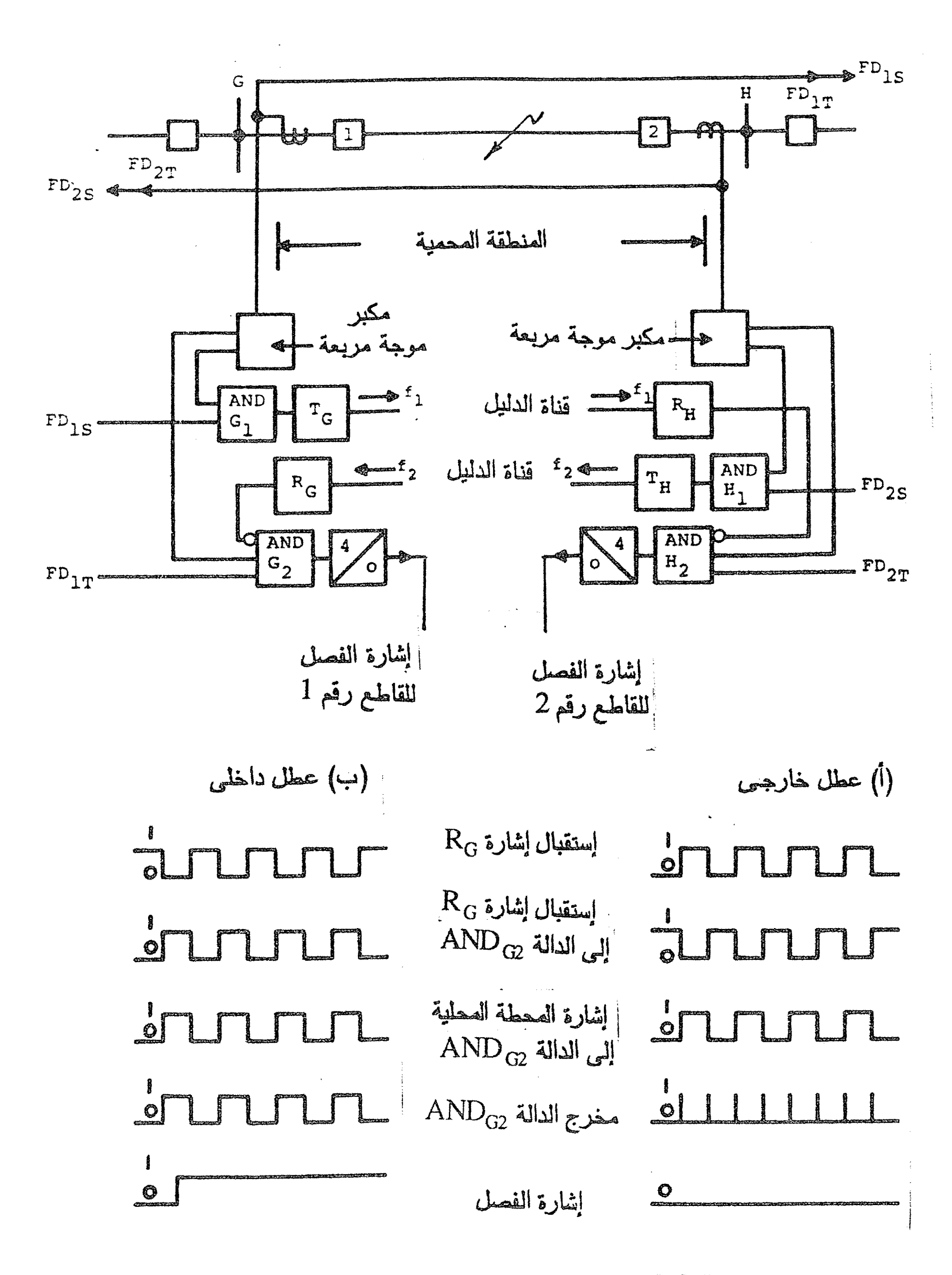
* وحدة القياس *Measuring unit*
* محول التيار الجمعى *Summation C.T*
* مقاومة مواءمة *Padding resistor*
* نبيطة إرتفاع الجهد *Overvoltage device*

يغذى المتمم بتيارات الأوجه الثلاثة I_A , I_B , I_C من خلال محول التيار الجمعى ، كما فى شكلى (3-40) , (3-39) . بالأطراف 1, 2, 3 ويوصل طرف التعادل لمحولات التيار بالطرف 5 على المتمم ، ففى الحالة العادية يتم توصيل وصلة (Link) بين الطرفين 7, 5 بينما إذا كانت نقطة تعادل النظام متصلة من خلال مقاومة كبيرة لتحديد قيمة أقصى تيار أرضى بالشبكة ، فإنه يتم توصيل الوصلة بين الطرفين 8, 5

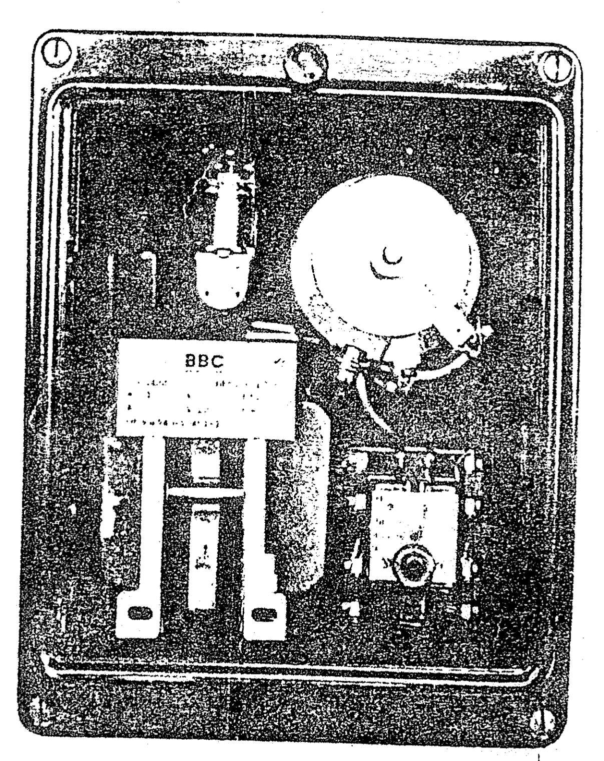
يوضح شكل (8-39) الربط بين متممى الوقاية على جانبى الخط ، ويلاحظ أن التيارات الثانوية لمحولات التيار الجمعى تمر فى دائرة تيار دائرى تتكون من مقاومة ثابتة 3 أو الديود 2 ومقاومات المواءمة *Ra* وسلكى الدليل . وعلى أى حال فإن مرور التيار فى المقاومة الثابتة 3 أوالديود المتصل على التوالى معها يعتمد على نصف موجة التيار . وتمثل مقاومة المواءمة بالمقاومات بين الأطراف 13, 14, 15, 16, 17 ويمكن إستخدام بعضها وإلغاء بعضها عن طريق عمل كبارى على الأطراف . كما يمكن إختيار قيمة مقاومة المواءمة تبعاً للعلاقة (أو أقرب ما يكون لها) $0.5\ (1000 - R_{LS})$ بالأوم حيث R_{LS} مقاومة سلكى الدليل (Loop resistance of the pilot wires) . وتكون أقصى قيمة لمقاومة سلك الدليل هى 1000 أوم وتعتمد فكرة تشغيل المتمم على مقارنة التيارات الداخلية والخارجة من الخط .

فى حالة عطل خارجى :

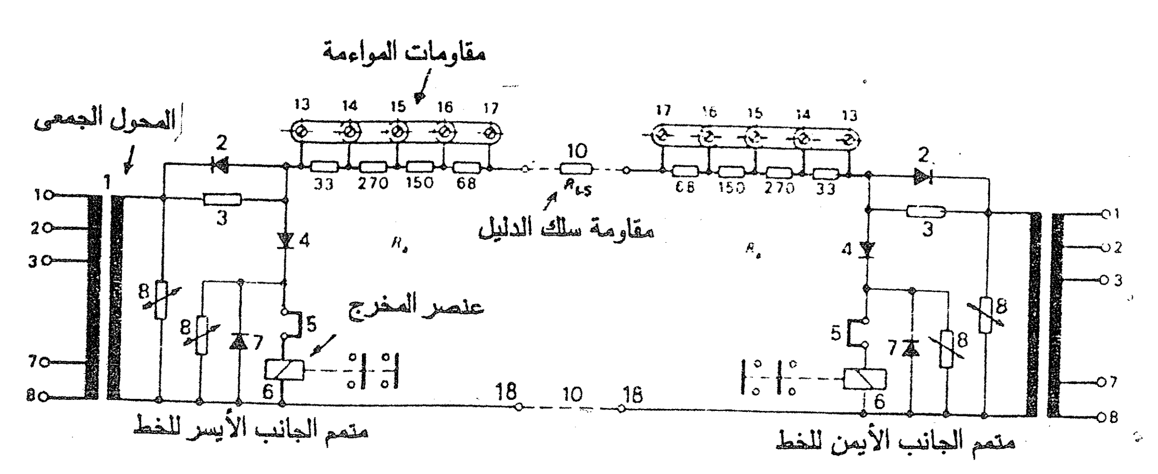
تكون التيارات الداخلة والخارجة فى نفس الإتجاه وعل ذلك فإن التيار الدائرى ، فى نصف دورة ، يمر بالمقاومة 3 على أحد الجانبين وبالديود 2 على الجانب الآخر ، والعكس بالعكس فى النصف دورة التالية ، وفى الحالتين تكون المقاومة الكلية للمسار متساوية . فى هذه الحالة يمنع الديود 4 ، على الجانبين ، مرور أى تيار لعنصر الفصل 6 (عبارة عن متمم مساعد) . ويكون هذا هو نفس الوضع فى حالة التشغيل العادى للخط .



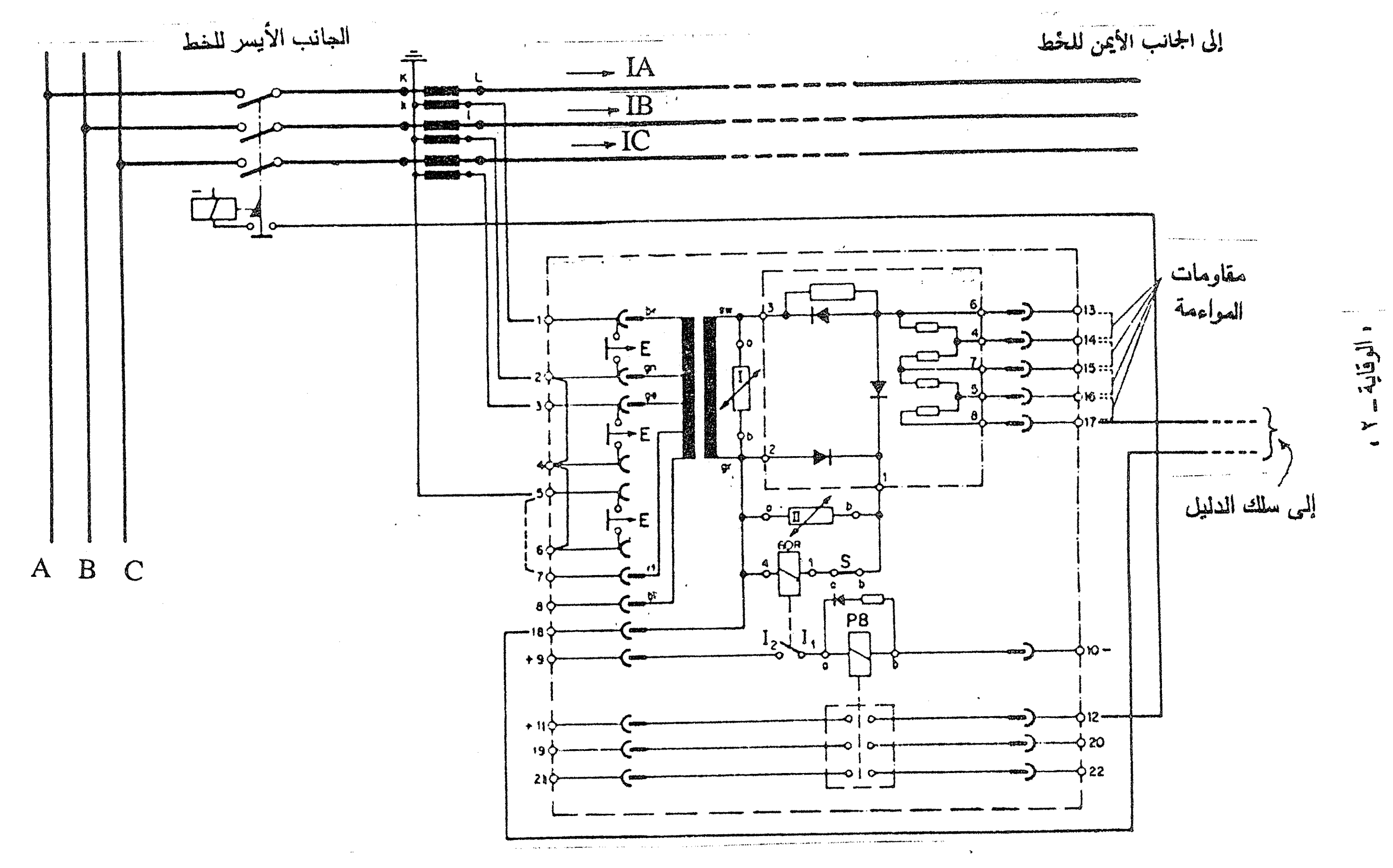
شكل (37-8) متمم الموجات المحملة ذو مقارن الزاوية



شكل (8-38) متمم وقاية تفاضلى ذو الدليل



شكل (8-39) الربط بين المتمم الموضح فى شكل (3-38) على جانبى الخط



شكل (8-40) الدائرة الداخلية للمتمم الموضح فى شكل (8-38)

في حالة عطل داخلى (التغذية من الجانبين)

ينتتج من مرور التيار على الجانبين هبوط جهد *(Voltage drop)* على المقاومة *8* على الجانبين ، ويكون للجهد نفس القطبية على المقاومتين *8* . لكل نصف دورة فإن الديود *4* يسمح بمرور التيار خلال عنصر الفصل على الجانبين معطياً إشارة بفصل قاطع التيار .

إذا كانت التغذية من جانب واحد للخط فإن المتمم ، على جانب التغذية ، يفصل قاطع التيار بنفس حساسية التغذية من الجانبين ، بينما يفصل قاطع التيار للجانب البعيد بحساسية تقل بمعامل يساوى *2.5*

يكون للمتمم مستوى عزل يساوى *5* ك.ف بين أسلاك الدليل والأرض ويجب أن تكون مقاومة سلكى الدليل *1000* أوم والسعوية بين السلكين أقل من *2.5* ميكروفاراد .

ويجب أن تكون محولات التيار المستخدمة على جانبى الخط لها نفس المواصفات الفنية فمثلاً عند نفس الجهد U_K ، جهد نقطة المفصل *(Knee-point voltage)* ، يجب ألا تختلف تيارات المغنطة *(Magnetization current)* عن القيمة *5%*

وللتأكد أن إختيار محولات التيار سليمة يجب أن تكون U_K كالآتى :

$$U_K \geq \frac{50}{I_n} + \frac{I_{IK}}{N}\,(R_2 + 2R_L)$$

حيث :

I_n : التيارالمقنن للمتمم .

I_{IK} : التيار الابتدائى ، ويساوى أقصى تيار يمر عند حدوث عطل خارجى .

N : نسبة تحويل محولات التيار .

R_2 : المقاومة الثانوية لمحولات التيار .

R_L : مقاومة الحمل بين محولات التيار والمتمم .

2) يوضح شكل *(8-41)* متمم ذات أسلاك الدليل ، من النوع الاستاتيكى ، صناعة سويسرية ، للتركيب عل خط ثلاثى الأوجه ، يكشف جميع أعطال الأوجه والأرض حسب نظام تأريض الشبكة الكهربائية المغذية للخط المركب عليه المتمم .

ويوضح شكل (8-42) الفكرة الأساسية للمتمم على جانبى الخط وبينهما أسلاك الدليل . يستخدم المحول ذو الثغرة الهوائية والذى يعرف بالمعاوقة البديلة (Transactor) لتحويل التيار الثانوى ، لمحول التيار ، إلى جهد أولاً خلال المقاومة R لنفس المتمم وثانياً خلال المقاومة R_1 للتمم على الجانب الآخر عن طريق أسلاك الدليل . معنى ذلك وجود جهدين على كل متمم ، أحدهما U_1 يتناسب مع تيار الخط لنفس المتمم الآخر U_2 يتناسب مع التيار المار بالجانب البعيد . تتم مقارنة هذين الجهدين عن طريق دائرة قياس إستاتيكية (Solid state measuring circuit) بكل متمم .

فى حالة التشغيل العادية أو حدوث عطل خارجى فإن إختلاف الجهد U_Δ يساوى نظرياً صفر . بينما فى حالة حدوث عطل داخلى (على الخط) فإن أحد الجهدين تنعكس إشارته مسبباً قيمة محسوسة للجهد U_Δ تؤدى إلى تشغيل عنصر المخرج وفصل قاطعى التيار .

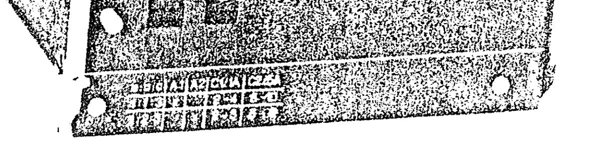
إذا كانت تغذية الخط من إتجاه واحد فإن أحد الجهدين لا يظهر ولكن يكون الجهد الموجود كافياً لتشغيل المتمم وفصل قاطعى التيار .

يلاحظ فى شكل (8-41) أن المتمم يحتوى على ثلاثة قيم للضبط هى :

* تعويض مقاومة أسلاك الدليل بخطوات كل خطوة 200 أوم .
* تعويض زاوية الإزاحة الناتجة بأسلاك الدليل بحدود من صفر إلى $40°$ مقسمة على 10 خطوات .
* التأخير الزمنى لإشتغال عنصر الوقاية ضد زيادة التيار بحدود من 0.5 إلى 4.5 ثانية مقسمة على 9 خطوات .

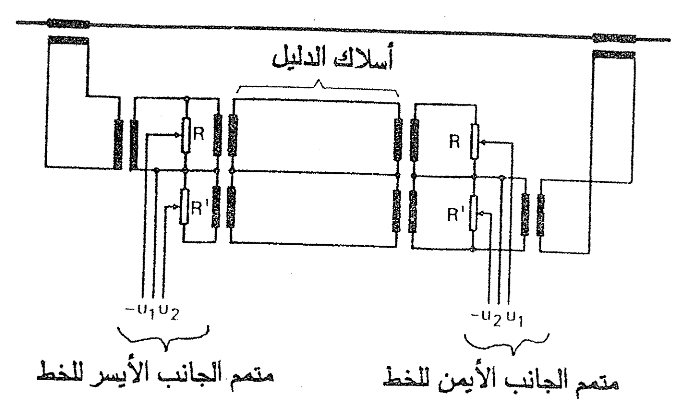
كذلك يحتوى على إشارات بيان للفصل والزمن وأعطال أسلاك الدليل . ويوضح شكل (8-43) الدائرة الداخلية للمتمم والتى تتكون من دائرة قياس واحدة للثلاثة أوجه ، مؤقت ، دالة OR ، إشارات البيان ، مكبرات ، عنصر المخرج .

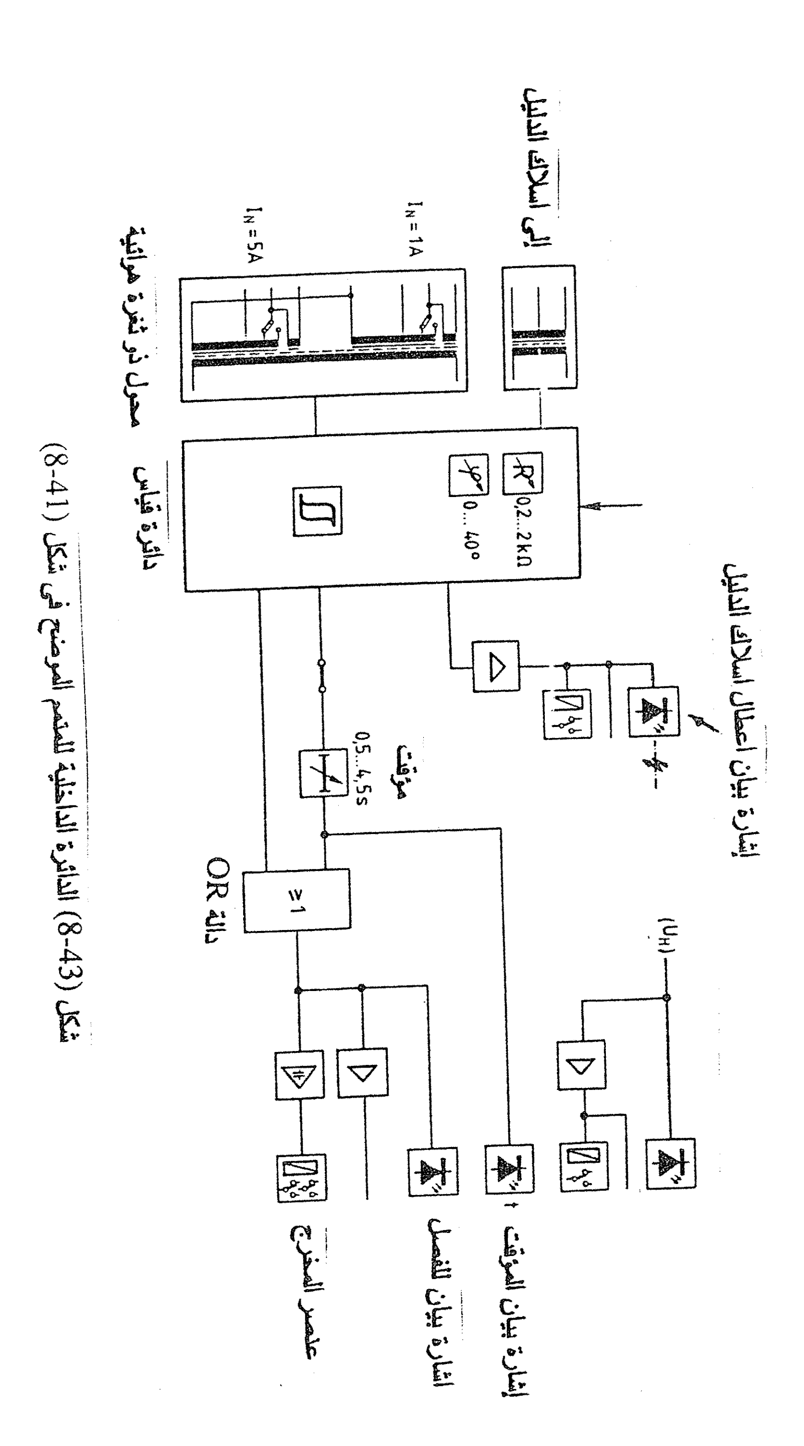
3) يوضح شكل (8-44) مكونات متمم مقارن الزاوية ذى الموجة المحملة (Carrier phase comparison relay) ويستخدم مع الخطوط الهوائية ، صناعة ألمانية ، والذى يتكون من جزئين أساسيين هما :



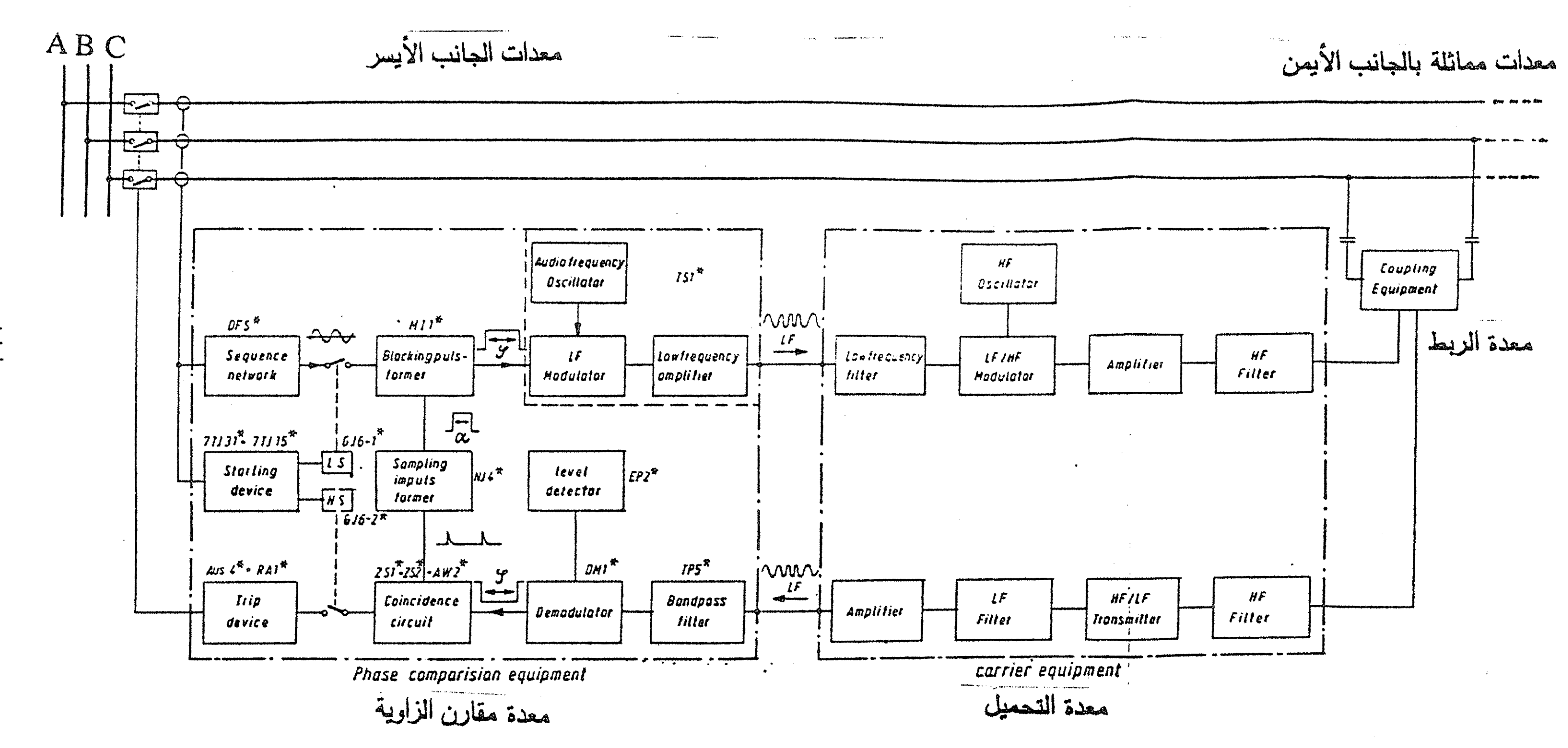
شكل (8-41) متمم ذ و اسلاك الدليل من النوع الاستاتيكى

الخط





شكل (8-43) الدائرة الداخلية للمتمم الموضح فى شكل (8-41)



شكل (8-44) متمم مقارن الزاوية ذى الموجة المحملة

* معدة مقارن الزاوية *(Phase comparison equipment)*
* معدة التحميل *(Carrier equipment)*

ويوضح شكل *(8-45)* مكونات معدة مقارن الزاوية .

حيث يتغذى عنصر المدخل من الدوائر الثانوية لمحولات التيار للثلاثة أوجه ، . أما عنصر المدخل عبارة عن دائرة لقياس المدخل ملحقة بمرشح ودائرة مرشح مركبات التتابعية *(Sequence filter)* ونحصل منه على إشارة مخرج واحدة تغذى دائرة المضمن *(Modulator)* . نحصل على إشارة الموجة المحملة من المضمن ومكبر التردد المنخفض ويغذى بها معدات الربط ومن خلال الخط إلى المعدات بالجانب الآخر للخط .

تستقبل إشارة التحميل خلال معدات الموجات المحملة وتعزل عن أى إشارات موجات تحميل أخرى عن طريق مرشح نطاقى ضيق *(Narrow band filter)* ثم تكبر بمرورها على مكبر الإستقبال وتسلط على دائرة التطابق *(Concidence circuit)* . مع ملاحظة أن الإشارة المستقبلة عند هذه المرحلة تحتوى على كل من الإشارة الموضعية *(Local)* والإشارة البعيدة *(Remote)* ، لذلك فإن دائرة التطابق خصصت للزاوية النسبية للتيارات عند جانبى الخط عن طريق النظرة الشاملة لإشارة التحميل والموجودة على الخط . ويغذى عنصر الفصل من مخرج دائرة التطابق ، نظرياً وهذا المخرج يساوى صفر فى حالة عدم وجود أى أعطال على الخط .

يتم التحكم فى تشغيل العناصر عن طريق إمرار مخارج عناصر البدء *(Starting element)* (فى هذه الحالة إستخدم متمم وقاية مسافية *Under impedance starting relay* كعنصر بدء مساعد) لتغذية عنصرى الضبط المرتفع والمنخفض *(High-set, Low-set)* وهى تعمل على التأكد من أن الموجة المحملة لا ترسل بصفة مستمرة ولكن يكون الإرسال خلال الأعطال فقط . وأن المتممين على الجانبين يعملان فى نفس الوقت ، بالإضافة إلى أن ضبط المتمم يعطى مقارنة صحيحة للزاوية عند أخذ التيار السعوى فى الإعتبار ويكون عنصر البداية الأساسى بالمتمم ، والموضح بشكل *(8-46)* عبارة عن :

أ) محولات التيار الجمعى *Summation transformers*

توجد ثلاثة محولات تيار تغذى بالتيارات I_a , I_b , I_c , I_n ، كما فى الشكل *(8-46)* وتكون مخارجها تبعاً للمعادلات الآتية :

$$U \; \alpha \; I_a \; - \; 2I_b \; + \; I_c$$

$$V \; \alpha \; I_a \; + \; I_b \; - \; 2I_c$$

$$W \; \alpha \; I_n$$

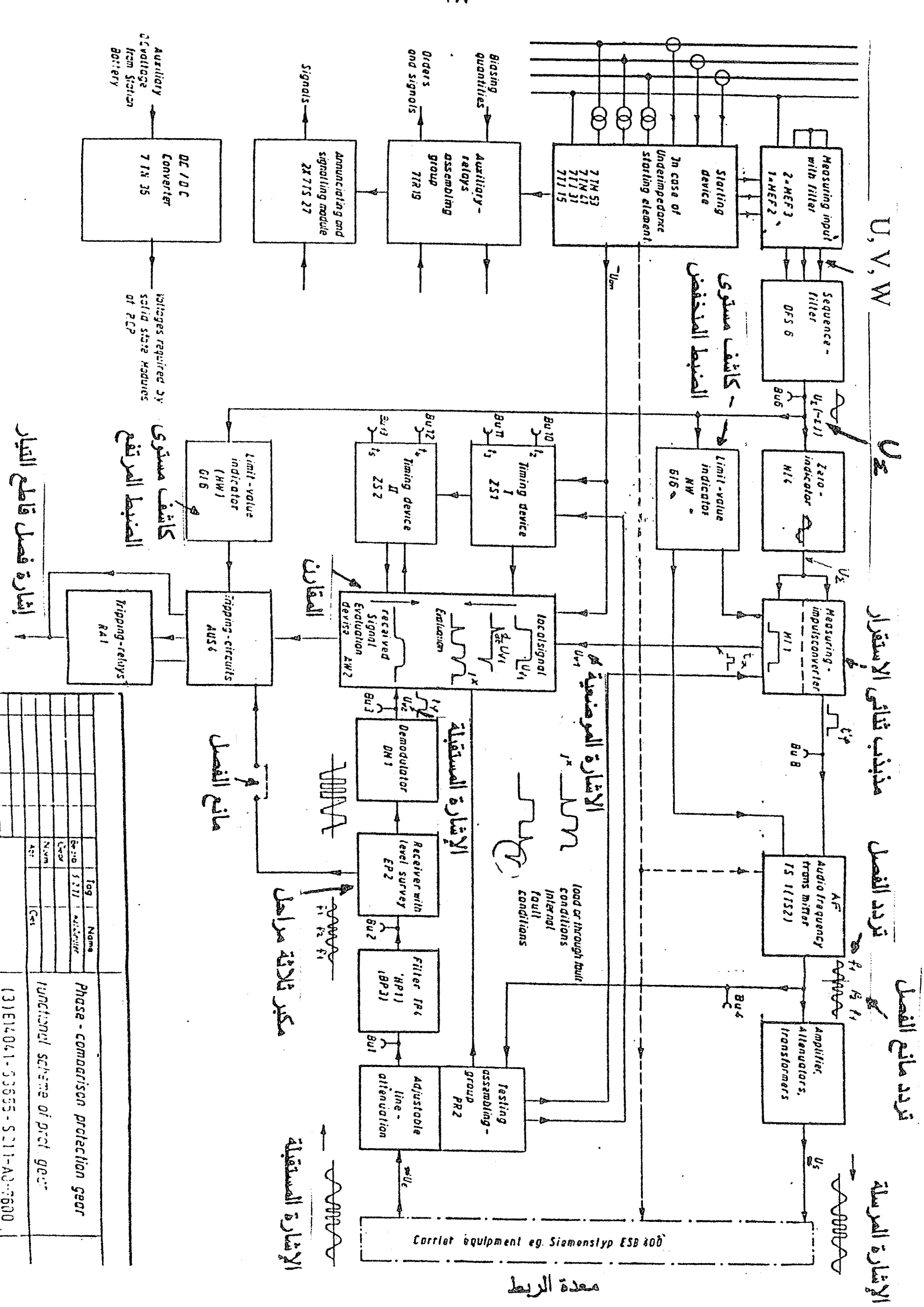
ب) دائرة التتابعية *Sequence network*

تتغذى الدائرة التتابعية من مخارج محولات التيار الجمعى ونحصل منها على مخرج خطى يتناسب مع مركبات التتابعية الموجبة I_1 والسالبة I_2 والصفرية I_0 وتخضع للمعادلة :

$$U_\Sigma \; \alpha \; I_1 \; + \; 3I_2 \; + \; 5I_0$$

أختيرت الأرقام *3 , 5* (معاملات I_2 , I_0) للتغلب على تأثير تيارات الحمل أثناء حدوث عطل داخلى (على الخط) كذلك التغلب على تأثير التيار السعوى أثناء حدوث عطل خارجى . ويجب التذكر بأن مركبة التتابعية السالبة فى حالة عطل غير متزن تكون أقل من تيار العطل الكلى ، مثلاً تكون *30%* فى حالة الأعطال الأرضية ، بينما تكون مركبة التتابعية الموجبة فى حالة أعطال متزنة *100%* ، وتعتبر غالبية تيارات الحمل والتيارات السعوية كمربعات تتابعية موجبة للتيار ولذلك لا نحتاج لأن يكون معامل I_1 فى المعادلة السابقة كبيراً .

بمعنى آخر فإن جهد مخرج دائرة التتابعية يخضع للنسبة *1 : 3 : 5* . وعلى ذلك فإن مقارن الزاوية يقارن فقط بين زاويتى U_Σ على الجانبين بينما تحد قيمة هذه الإشارة لمنع تشبع معدات المراحل المتعاقبة ، وتكون قيمة هذه الإشارة لمنع تشبع معدات المراحل المتعاقبة . وتكون موجة U_Σ عبارة عن موجة جيبية ، تحول إلى موجة مربعة من خلال دائرة تقاطع صفرى *(Zero crossing)* . كما يحتوى المتمم أيضاً على كاشفى مستوى ، أحدهما حدود ضبطه من *0.65* إلى *0.85* ڤولت ويعرف بكاشف مستوى ضبط مرتفع ، والآخر حدود ضبطه من *0.5* إلى *0.7* ڤولت ويعرف



U, V, W
Measuring input with filter
Sequence-filter DFS 6
Zero-indicator NI4
Limit-value indicator NW GI6
Measuring-impulsconverter MI1
AF Audio frequency transmitter TS 11(S2)
Amplifier, Attenuators, transformers
Starting device
In case of Underimpedance starting element
Auxiliary-relays assembling group 7TR19
Annunciating and signalling module 2X7TS27
DC/DC Converter 7TN35
Biasing quantities
Orders and signals
Signals
Auxiliary dc voltage from Station Battery
voltages required by solid state modules of PCP
Timing device I ZS1
Timing device II ZS2
Limit-value indicator (HW) GI6
local signal
Evaluation
received Signal Evaluation device ZW2
Demodulator DM1
Receiver with level survey EP2
Filter TP6 (HP1) (BP3)
Testing assembling-group PR2
Adjustable line-attenuation
Tripping-circuits AUS4
Tripping-relays RA1
load or through fault conditions
internal fault conditions
Carrier equipment eg. Siemenstyp ESB 400
Phase - comparison protection gear
functional scheme of prot. gear
كاشف مستوى الضبط المنخفض
مذبذب ثنائي الاستقرار
تردد الفصل
تردد مانع الفصل
الإشارة المرسلة
الإشارة الموضعية
الإشارة المستقبلة
المقارن
كاشف مستوى الضبط المرتفع
إشارة فصل قاطع التيار
مانع الفصل
مكبر ثلاثة مراحل
معدة الربط

بكاشف مستوى ضبط منخفض ويكون الغرض من كاشفات المستوى الحصول على جهد مخرج مكبر نتيجة التغذية بالإشارة U_Σ ، كما فى شكل *(8-37)* .

وبعد تحويل الموجة U_Σ إلى موجة مربعة ، تمر على دائرتى أحادى الإستقرار *(Monostable)* للحصول على النبضتين الآتيتين :

* نبضة لها عرض $t_\phi{}^1$ تغذى مرسل الترددات السمعية *(Audio frequency transmitter)*

* نبضة لها عرض t_α تغذى المقارن الموضعى بالإشارة U_{V1} ما فى شكلى , *(8-45)* *(8-48)* .

يكون التردد المستمر F_1 بالمرسل حوالى *540* هرتز ، بينما يتحول خلال الدورة $t_\phi{}^1$ إلى التردد F_2 ويكون حوالى *1140* هرتز ، كما سيتضح فى شكل *(8-50)* .

تستقبل الإشارة بتأخير زمنى من الجانب الآخر ويرمز لها U_{V2} ، كما فى شكل *(8-49)* , *(8-45)* وبالتالى يتغذى مقارن الزاوية بالإشارتين U_{V1} (الموضعية) ، U_{V2} (البعيدة) ، فإذا كانت الإشارة المستقبلة أقل من قيمة معينة فيحدث مانع فصل *(block tripping)* .

ويوضح شكل *(8-50)* تتابع وأشكال الموجات بالمواضع المختلفة بالمتمم . كما يلاحظ فى شكلى *(8-49)* , *(8-45)* تغذية مقارن الزاوية بالموجة U_{an} الناتجة من عنصر البداية المساعد (بالإضافة إلى المدخلين U_{V1} , U_{V2}) . ويتم تفاضل للموجة U_{V1} لتحويلها من موجة مربعة الى نبضة موجبة وأخرى سالبة عند حدى الموجة المربعة ، ثم تقارن النبضة السالبة مع الموجة U_{V2} . ففى حالة التشغيل العادية تقع هذه النبضة السالبة فى منتصف الموجة U_{V2} ، تبعاً لضبط المتمم ، وفى حالة عطل خارجى تظل هذه النبضة السالبة واقعة فى حدود الموجة U_{V2} .

بينما عند حدوث عطل داخلى فإن إختلاف الزاوية بين الإشارتين U_{V1} , U_{V2} تجعل النبضة السالبة تقع خارج الموجة U_{V2} .

ويحتوى المتمم على مؤقتين ، الأول يحتوى على ضبطتين للتأخير الزمنى هما t_2 , t_3 والآخر يحتوى على قيم الضبط t_4 , t_5 , $t_5{}^1$ ويوضح شكل *(8-51)* هذه الأزمنة فى حالتى التردد *50* هرتز و *60* هرتز . وعند حدوث عطل فإن متمم الوقاية المسافية

(عنصر البداية) يلقط ويعطى إشارة بعد تأخير زمنى t_2 . وخلال هذه الفترة نجد إشارة الفصل تعطى مانع فصل فى حالات التشغيل الخاطئ نتيجة الترددات العالية الفجائية اللاحقة للعطل . وتعرف الأزمنة كالتالى :

t_5 : زمن البداية (يتغير من 2 إلى 15 مللى ثانية معتمداً على قيمة الجهد والتيار) ويكون حوالى 5 مللى ثانية عند ضعف قيمة الضبط .

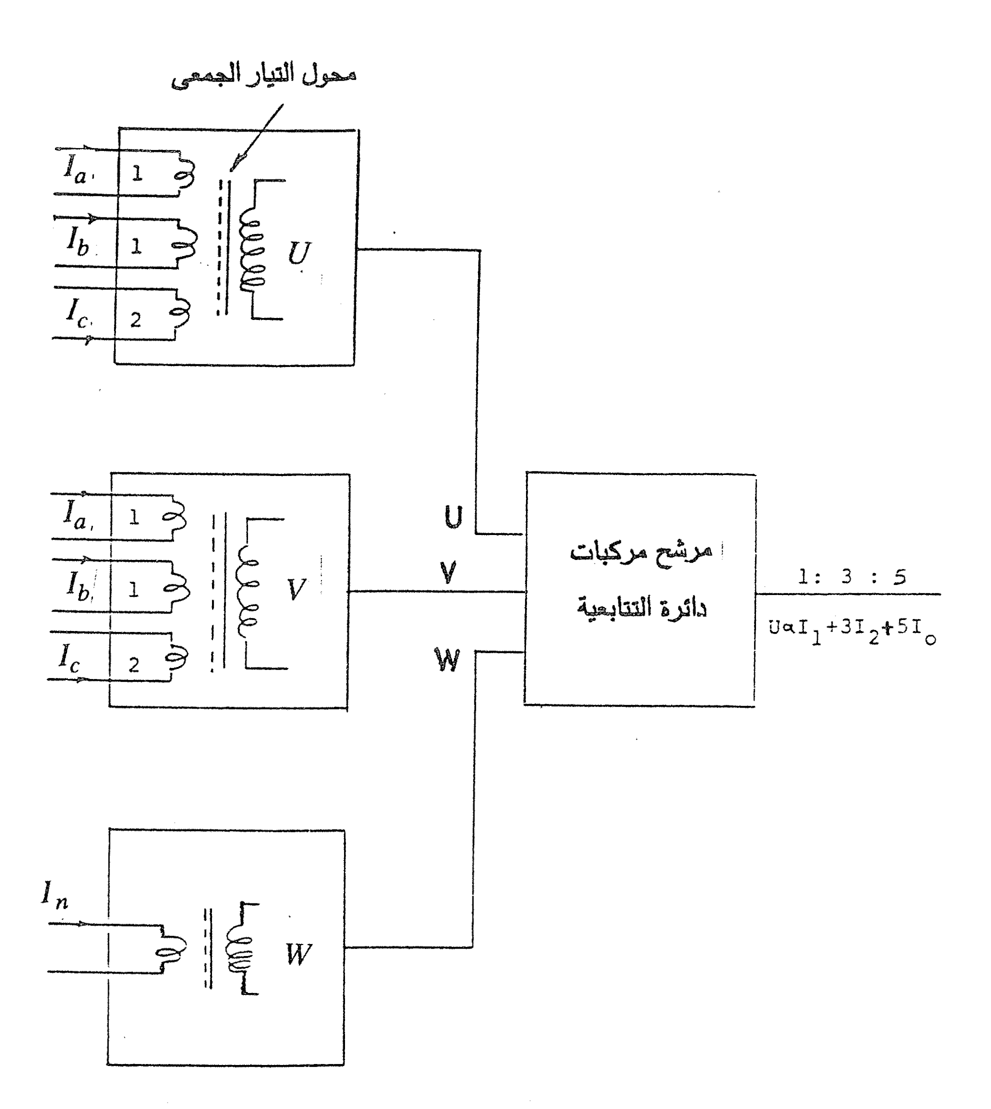
t_1 : زمن التصحيح ، ويضبط تبعاً لزمن إشارة الترددات المنخفضة وإشارة الترددات العالية للمحطة البعيدة .

t_2 : التأخير الزمنى لعنصر البداية (زمن المسافة) *(Locking time)* .

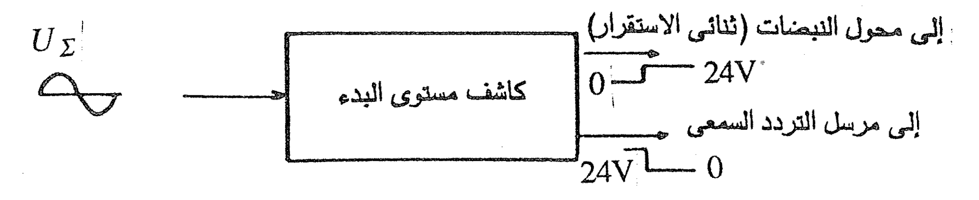
t_3 : زمن الفصل *(Tripping)* .

t_4 : زمن الإعاقة .

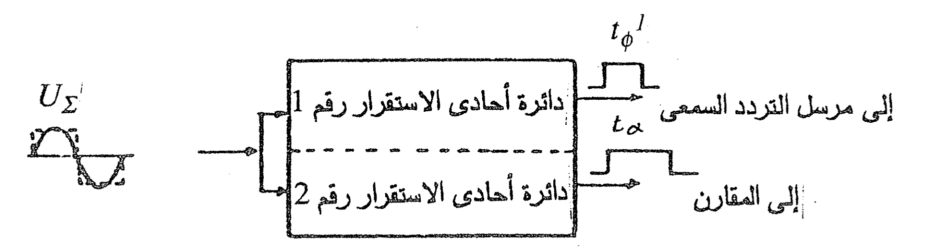
t_5 : زمن الفصل .



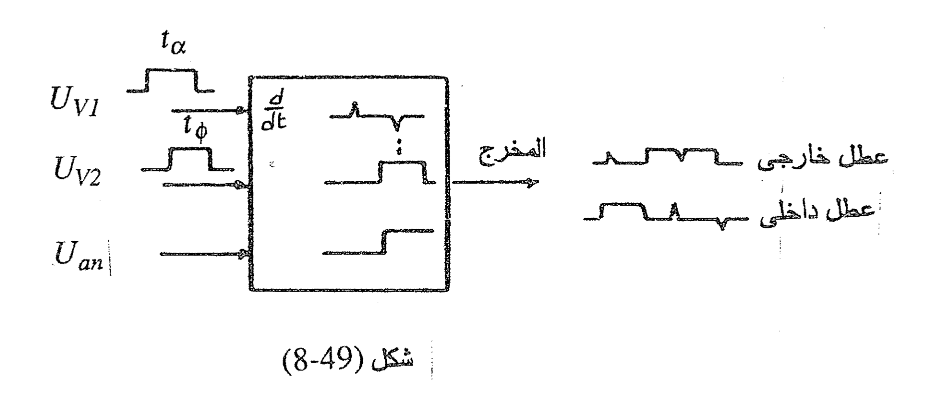
شكل (46-8) محولات التيار الجمعى ومرشح مركبات دائرة التتابعية



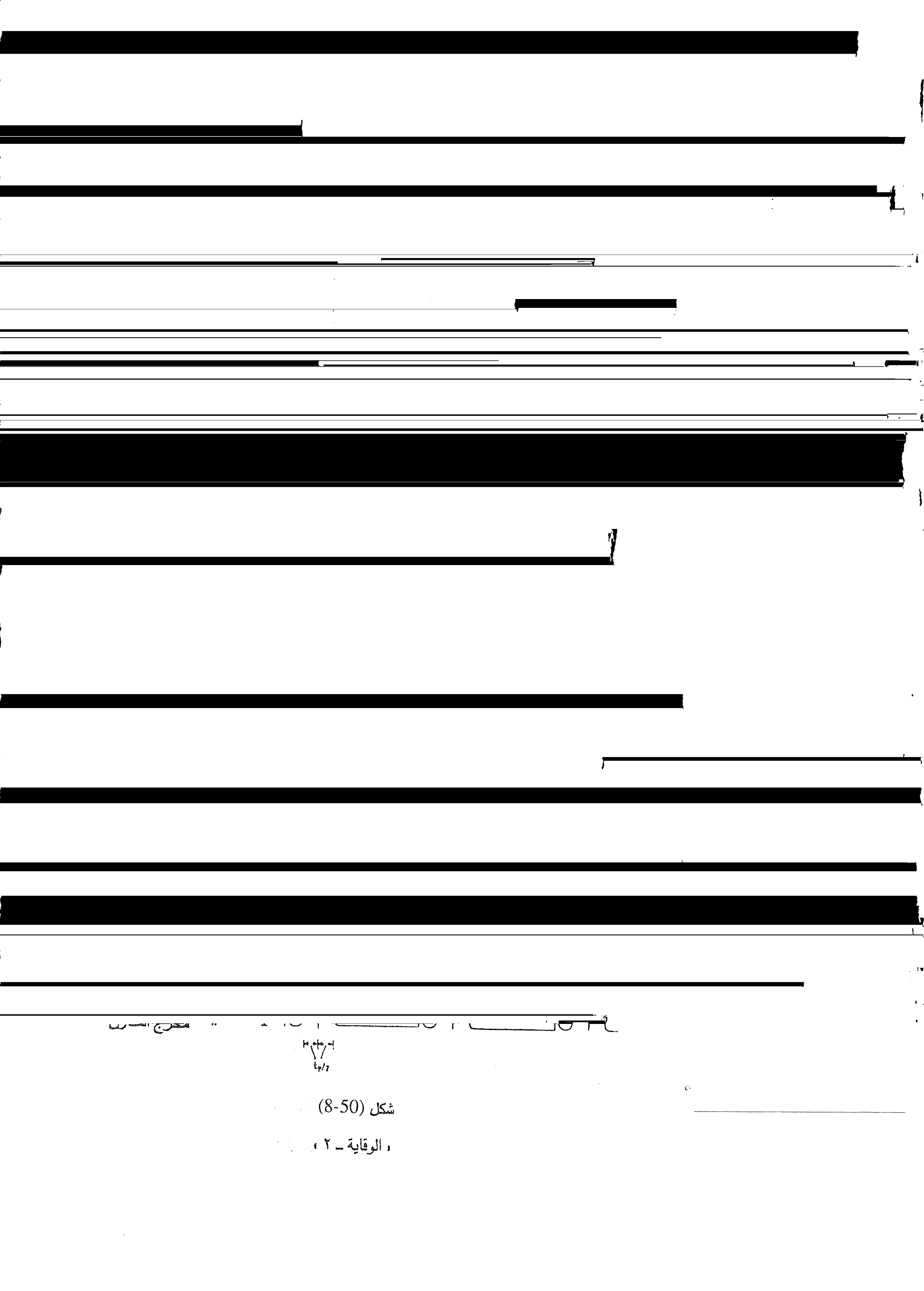
شكل (8-47) كاشف مستوى البدء



شكل (8-48) دائرة أحادى الاستقرار

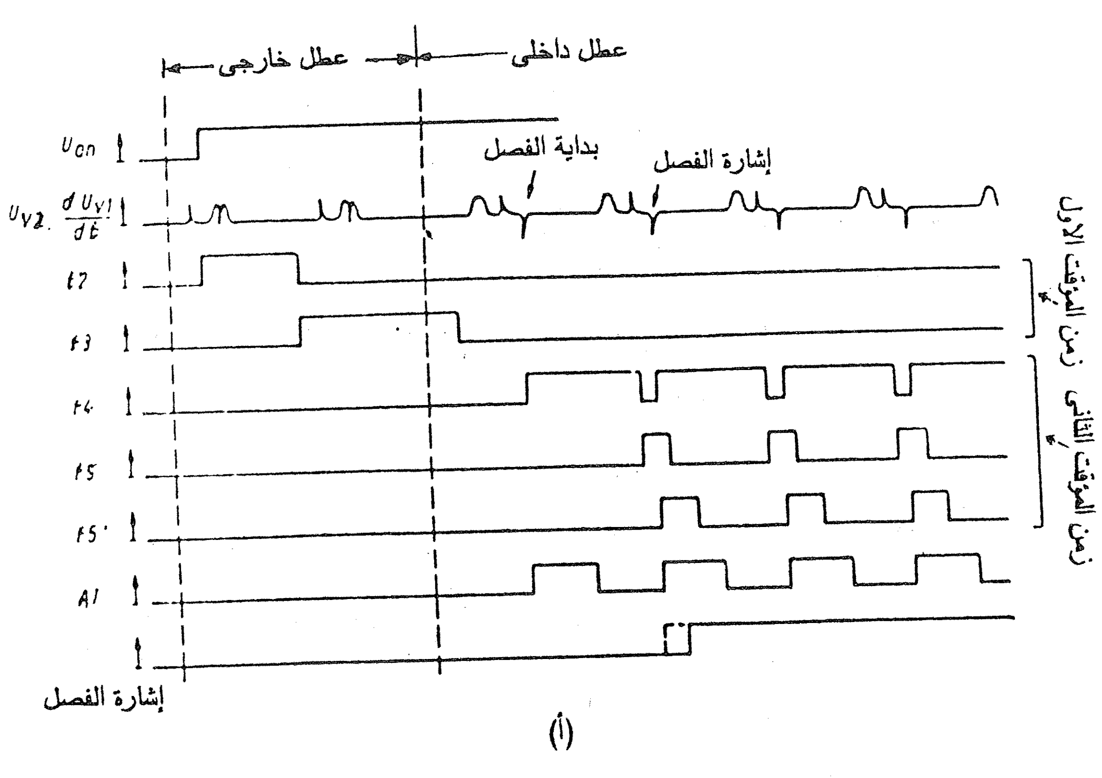


شكل (8-49)

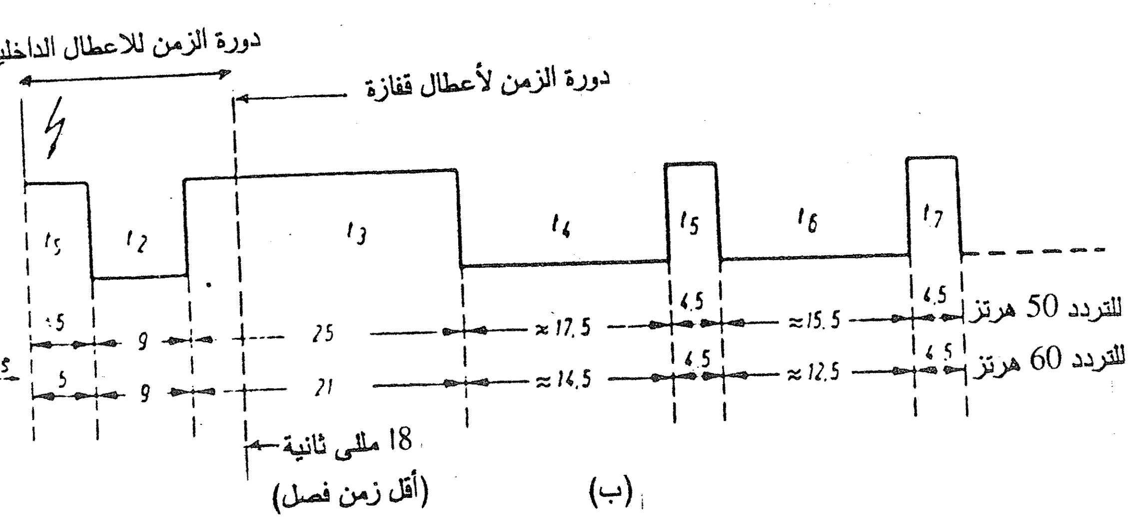


شكل (8-50)

« الوقاية ـ ٢ »



عطل خارجى
عطل داخلى
بداية الفصل
إشارة الفصل
زمن المؤقت الأول
زمن المؤقت الثانى
إشارة الفصل
(أ)



دورة الزمن للاعطال الداخلية
دورة الزمن لأعطال قفازة
للتردد 50 هرتز
للتردد 60 هرتز
18 مللى ثانية
(أقل زمن فصل)
(ب)

شكل (8-51)

الباب التاسع
الوقاية المسافية
DISTANCE PROTECTION

تعتبر متممات الوقاية ضد زيادة التيار هى أبسط وأكثر الطرق الأولية لوقاية الخطوط والكابلات ضد الأعطال . ويشترط لإختيار الوقاية ضد زيادة التيار أن يكون تيار العطل ، لجميع حالات الأعطال ، أكبر بكثير من أقصى تيار حمل مسموح وهذا الشرط متوافر فى الكابلات والخطوط ذات الجهود المتوسطة وذات الأطوال القصيرة والتى تكون مقاطعها كبيرة نسبياً وبالتالى معاوقتها منخفضة ، لكل كيلومتر .

ويكون الوضع مختلفاً وأكثر تعقيداً للخطوط ذات الجهود العالية والفائقة . حيث أن الغرض الأساسى من إستخدام الجهود العالية والفائقة هو نقل طاقة كبيرة جداً لمسافات طويلة على خطوط ذات معاوقة كبيرة نسبياً (لكل كيلومتر) وعلى ذلك فإن تيار العطل يمكن أن يصل إلى قيمة أقل من تيار الحمل .

لذا إستخدمت الوقاية المسافية للتميز بين حالات الأعطال وحالات سلامة الخطوط.

وتعتبر المتممات المسافية ، متممات ذات كميتى تشغيل ، إحداهما الجهد وهو الذى يسلط على ملف جهد والأخرى التيار والذى يغذى ملف التيار ، كما فى المثال المبسط بشكل *(9-1)* والذى يمثل فيه المتمم برافعة الإتزان *(Balance beam)* . فعند حدوث عطل على الخط يرتفع تيار العطل وينخفض الجهد عند موضع العطل . وتقاس النسبة *V/I* عند موضعى محولى التيار والجهد . حيث يعتمد قيمة الجهد عند موضع محول الجهد على المسافة بين موضع العطل ومحول الجهد . فكلما كان مكان العطل أقرب كلما كان الجهد أقل أما إذا كان العطل بعيداً يكون الجهد المقاس أكبر ، وبفرض أن مقاومة العطل ثابتة فإن جميع قيم *V/I* المقاسة من موضع المتمم تعتمد على المسافة بين المتمم والعطل . وعلى ذلك سمى هذا النظام بالوقاية المسافية *(Distance protection)* أو وقاية المعاوقة *(Impedance protection)* .

فى شكل *(9-1)* إذا حدث عطل عند الموضع F_1 ، فإن معاوقة الخط Z_1 من موضع العطل وحتى المتمم تعرف من المعادلة الآتية :

$$Z_1 = \frac{/V_1/}{/I_1/} \longrightarrow (9\text{-}1)$$

حيث : V_1 : قيمة جذر متوسط مربعات *(rms)* الجهد V

I_1 : قيمة جذر متوسط مربعات *(rms)* التيار I

يكون المحل *(Locus)* الهندسى للمعادلة *(9-1)* دائرة ذات الإحداثيات X , R ، نصف قطرها المعاوقة Z ومركزها نقطة الأصل . وبإعتبار ϕ هى الزاوية بين الجهد والتيار فإن :

ϕ موجبة إذا كانت I_1 متأخرة عن V_1

ϕ سالبة إذا كانت I_1 متقدمة عن V_1

ويوضح شكل *(9-2)* تمثيل Z على الإحداثيات X , R ، ويعرف المتمم فى هذه الحالة بمتمم المعاوقة *(Impedance relay)* ، بينما يعرف المتمم الذى يقيس المعاوقة ويكون مسئولاً عن عزل الأعطال فى إتجاه واحد فقط بمتمم المعاوقة الإتجاهية *(Directional impedance relay)* . أما خاصيته فعبارة عن نصف دائرة فقط ، كما فى شكل *(9-2)* وتعتمد فكرة تشغيل المثال الموضح فى شكل *(9-1)* على معادلة العزم الآتية :

$$T = K_1 I^2 - K_2 V^2 - K_3 \longrightarrow (9\text{-}2)$$

حيث T : العزم المؤثر *(Net torque)*

$K_1 I^2$: عزم التشغيل *(Operating torque)*

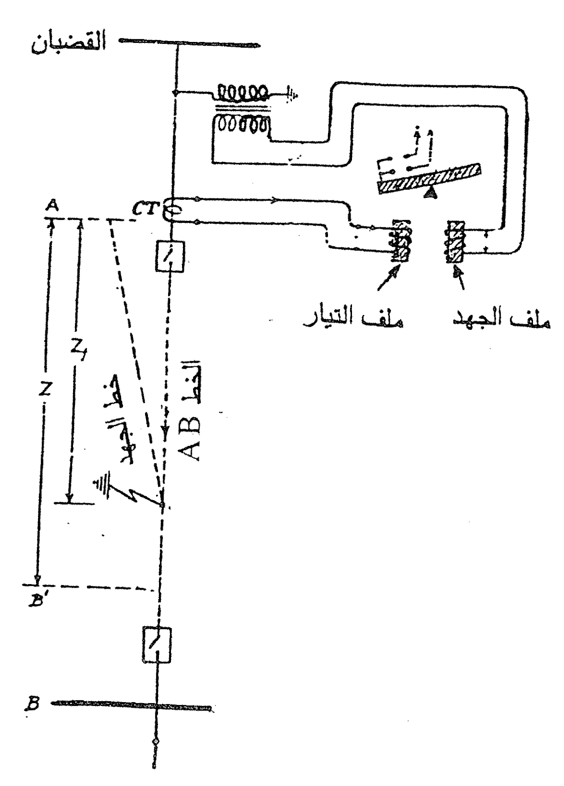
$K_2 V^2$: عزم الكبح *(Restraining torque)*

K_3 : ثابت ياى التحكم

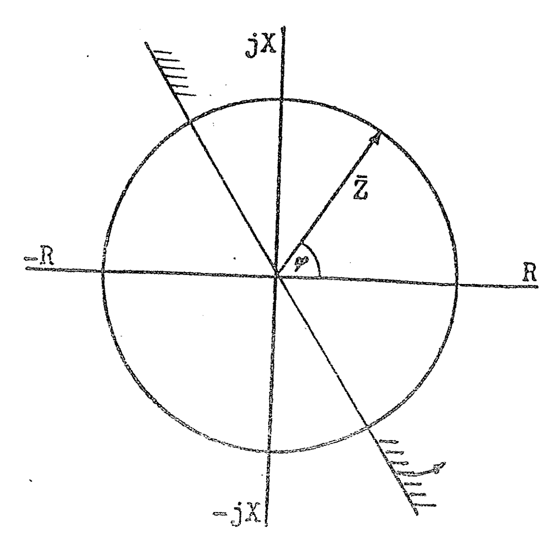
عند $T = 0$ يقترب المتمم من حالة التشغيل وتصبح المعادلة :

$$K_2 V^2 = K_1 I^2 - K_3$$

$$Z^2 = \frac{V^2}{I^2} = \frac{K^1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}$$



شكل (9-1) متمم من النوع ذى رافعة الاتزان



شكل (9-2) المحل الهندسى للمعاوقة Z

$$\therefore Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}}$$

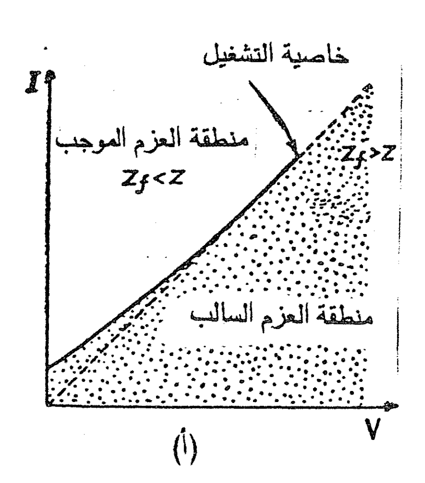
بفرض إهمال تأثير الياى فإن $K_3 = 0$ وتصبح Z قيمة ثابتة :

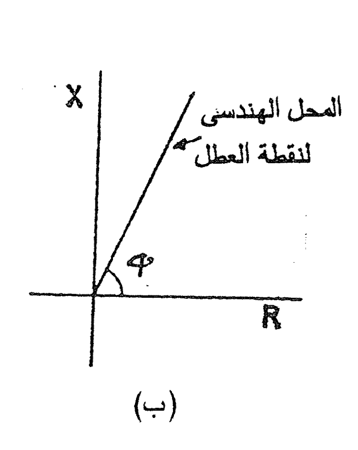
$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}$$

وعلى ذلك يمكن القول أن المتمم يعمل إذا كانت النسبة V/I أقل من قيمة معينة هى Z والتى تساوى $\sqrt{\frac{K_1}{K_2}}$. بينما إذا كانت Z أكبر من $\sqrt{\frac{K_1}{K_2}}$ فإن المتمم لا يعمل وتبعاً لذلك تكون العلاقة بين V , I كما فى شكل $(9\text{-}3)$.

وبذلك يكون متمم المعاوقة ذا حساسية للنسبة بين الجهد والتيار لموضع نقطة على الخط . أى يكون ذا حساسية للمعاوقة وتتناسب المعاوقة مع المسافة بين موضع محولات التيار والجهد ومكان العطل ، لذلك يطلق على متمم وقاية المعاوقة بمتمم الوقاية المسافية وتصنف متممات الوقاية المسافية كالآتى :

* متمم المعاوقة *(Impedance relay)* ويقيس القيمة Z
* متمم الممانعة *(Reactance relay)* ويقيس القيمة X
* متمم المسامحية *(Mho type relay)* ويقيس القيمة Y





شكل (9-3)

ويقيس المتمم عادة معاوقة أكبر من معاوقة الخط لأنه يقيس أيضاً معاوقة الحمل وذلك فى حالات التشغيل العادية بينما عند حدوث عطل فإن العطل يحدث دائرة قصر على الحمل ويقيس المتمم معاوقة الخط من موضع المتمم وحتى مكان العطل ، كما فى شكل *(9-4)*أ .

وإذا لم يكن العطل قصراً كاملاً *(Dead short circuit)* وكان من خلال مقاومة عطل R_F *(Fault resistance)* فإن المعاوقة المقاسة تكون أكبر من معاوقة الجزء العاطل من الخط ، ويوضح شكل *(9-4)*ب تأثير مقاومة العطل R_F على الإحداثيات *R-X* . فإن المتمم المركب عند *A* يقيس المتجه *AB* ، وذلك إذا كان العطل متصل مباشرة مع الأرض . بينما إذا حدث العطل من خلال المقاومة R_F فإن المعاوقة المقاسة تكون المتجه *AC* ، وتوضح الخطوط الأفقية تمثيل R_F عل مسافات مختلفة بين *A , B* وتعرف مساحة المعين *ABCD* بمساحة العطل ، والمقصود بها المنطقة المحددة لعمل المتمم . هذا الشكل يمثل حالة تغذية الخط من جهة واحدة ، بينما إذا كانت التغذية من الجهتين فيصبح الشكل غير منتظم نتيجة لزاوية الإختلاف بين مصدرى التغذية .

وتوضح الأشكال *(9-4)* ج،د،هـ،و بعض الخصائص وإحتواء مساحة العطل داخلها وأفضل هذه الحالات هى خاصية الممانعة والتى يكون لها سماحية عالية لإحتواء مساحة العطل ، بينما تقل هذه السماحية لخاصيتى المعاوقة والمسامحية .

أولاً : متممات الوقاية المسافية من النوع الكهرومغناطيسى :

أ) متمم المعاوقة *Impedance Relay*

يضبط المتمم على قيمة معاوقة الخط *Z* وتكون خاصية المتمم عبارة عن دائرة نصف قطرها *Z* ومحيطها هو المحل الهندسى لأبعد نقطة على الخط بينما مركزها هو الطرف الآخر للخط ، وبالرجوع الى شكل *(9-1)* يمكن تمثيل المركز بالنقطة *A* بينما النقطة B^1 تقع على المحيط إعتماداً على الزاوية بين *V , I* . وإذا حدث عطل على الخط *A-B* فإن معاوقة الجزء العاطل تقع داخل الدائرة ، أى يعمل المتمم وفى أى إتجاه داخل الدائرة حيث لم تقيد الزاوية أو تحدد بقيمة معينة .

ويمكن تسجيل العلاقة بين *R, X* للجزء من الخط الذى حدث به العطل على محورى *R, X* كما فى شكل *(9-5)* وتعتمد الزاوية ϕ على النسبة *R/X* .

وعند حدوث عطل خارج الخط ، الوضع F_2 بشكل *(9-1)* ، فإن قيمة المعاوقة تصبح أكبر من قيمة الضبط على المتمم Z ، وبذلك يكون المحل الهندسى لهذا العطل خارج الدائرة ، كما فى شكل *(9-5)* ، أى لا يعمل المتمم . ومن عيوب هذا النوع ما يأتى :

أ) أنه متمم غير إتجاهى ، أى يكون مسئولاً عن الأعطال على جانبى موضع محولات التيار والجهد . كذلك فإنه لا يميز بين الأعطال على الخط (أى يمين محولات التيار والجهد) والأعطال على الخط التالى (أى يسار محولات التيار والجهد) مادامت قيمة المعاوقة أقل من قيمة الضبط .

ب) يتأثر المتمم بمقاومة القوس *(Arc resistance)* والتى تؤدى إلى حالة عدم التجاوز *(Under reach)* أو حد التجاوز *(Over reach)* تبعاً لموضع المتمم .

ج) يتأثر المتمم بتأرجح القدرة *(Power swings)* للشبكة الكهربائية .

وتكون العلاقة بين زمن التشغيل والنسبة المئوية للمعاوقة كما فى شكل *(9-6)* فمعاوقة الأعطال الأقل من 100% من المعاوقة يفصل المتمم بعد زمن t_1 بينما لا يعمل لمعاوقة أعطال أكبر من 100% من المعاوقة .

وتوجد أنواع مختلفة من متممات الوقاية المسافية لها خاصية الدائرة أو جزء من الدائرة . وتصنف هذه الخصائص كالتالى :

* دائرة مركزها نقطة الأصل .
* دائرة محيطها يمر بنقطة الأصل .
* نصف دائرة مركبة على خط إتجاهى يمر بنقطة الأصل .
* دائرة مركزها ليس نقطة الأصل ، ولكن تقع نقطة الأصل داخلها .
* دائرة محددة من أعلى بخط يوازى المحور X .

يمكن الحصول على جميع هذه الخصائص بالوسائل التى سنحددها فيما بعد .

ب) متمم المعاوقة الإتجاهى *Directional Impedance Relay*

خاصية المتمم فى هذه الحالة عبارة عن نصف دائرة مركزها نقطة الأصل ونحصل على هذه الخاصية عن طريق عنصرين أحدهما عنصر إتجاهى يخضع للعلاقة الموضحة بشكل *(9-7)*أ .

ويعمل هذاالعنصر فى الجزء المظلل فقط ، أى أن العزم الموجب يحدث عندما تقع نقطة العطل على يمين الخط فى الجزء المظلل ، والعنصر الآخر هو عنصر خاصية

الدائرة ، وتكون خاصية متمم المعاوقة الإتجاهى كما فى شكل (7-9)ب ، وبفرض أن الزاوية α بين التيار والجهد هى الزاوية ROY بشكل (7-9)ب فإن المستقيم OXA يمثل الخط المركب عليه المتمم عند الجهة O ، وتعتبر الزاوية α هى ضبط العنصر الإتجاهى المحدد بالخط DD^1 ، ويكون عزم التشغيل موجباً إذا وقعت نقطة العطل داخل النصف دائرة ذات نصف القطر Z وعلى الجانب الأيمن من الخط DD^1 .

عند حدوث عطل على الخط OX فإن الزاوية α تقع فى حدود الزاوية DOD^1 .
ويعمل المتمم للحالتين الآتيتين :

* للمحل الهندسى OXY زاوية α فى حدود الزاوية DOD^1 فنحصل على الإتجاه .
* تكون المعاوقة المقاسة عن طريق المتمم أقل من قيمة الضبط Z .

وتكون معادلة العزم للمتمم :

$$T = K_1 V I \cos(\phi - \theta)$$

حيث K_1 : ثابت .
V : الجهد المسلط على ملف الجهد بالمتمم .
I : التيار المار بملف التيار بالمتمم .
ϕ : الزاوية بين V, I .
θ : زاوية اقصى عزم .

بمساوة العزم بالصفر ، كما يحدث فى حالة بداية التشغيل للمتمم ، فإن :

$$\cos(\phi - \theta) = 0$$

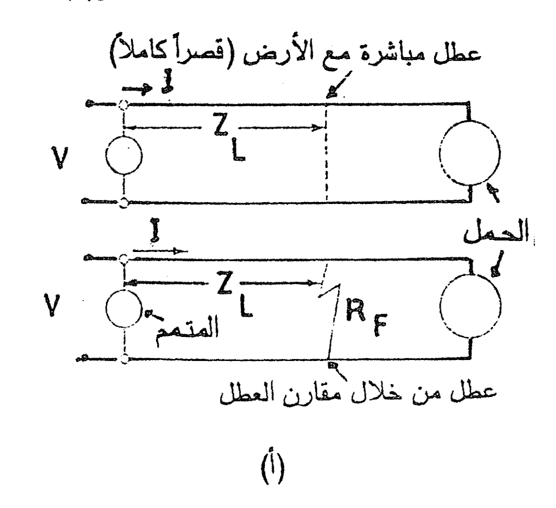
$$\therefore \phi - \theta = \pm 90^\circ$$

وبذلك تكون حدود العزم الموجبة عندما تكون ϕ تساوى $(\theta \pm 90^\circ)$ ومحلها الهندسى الخط DOD^1 بشكل (7-9)ب .

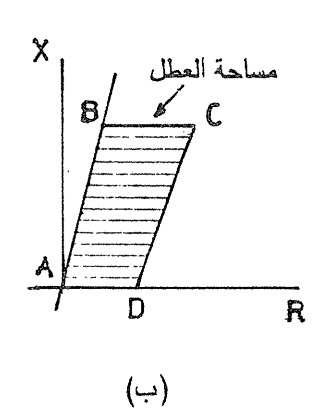
وبالإضافة إلى الشرط السابق ، نحتاج إلى شرط آخر لتحديد نصف الدائرة ، وهو عبارة عن العلاقة :

$$\frac{V}{I} < Z$$

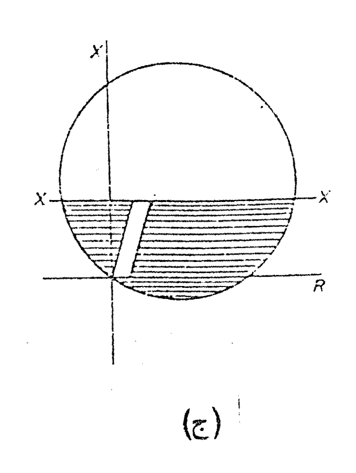
وتعتمد نصف قطرالدائرة Z على معاوقة الخط المركب عليه المتمم . ويمكن إزاحة الدائرة على المحورين R, X بحيث يمر محيطها بنقطة الأصل وتعتبر هذه



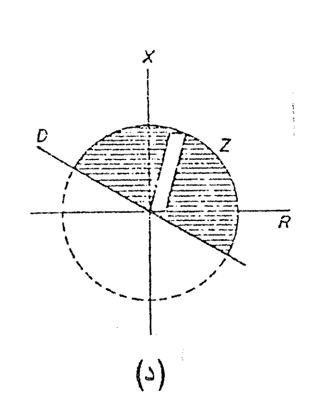
(أ)



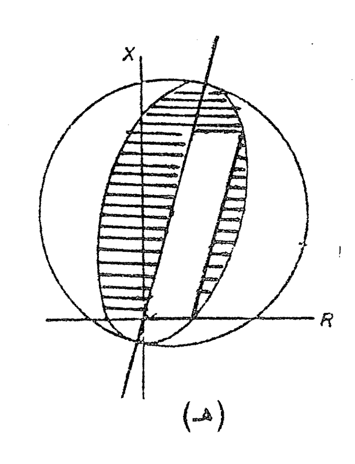
(ب)



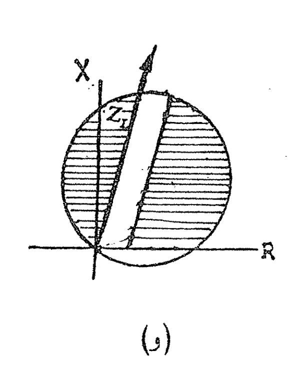
(ج)



(د)

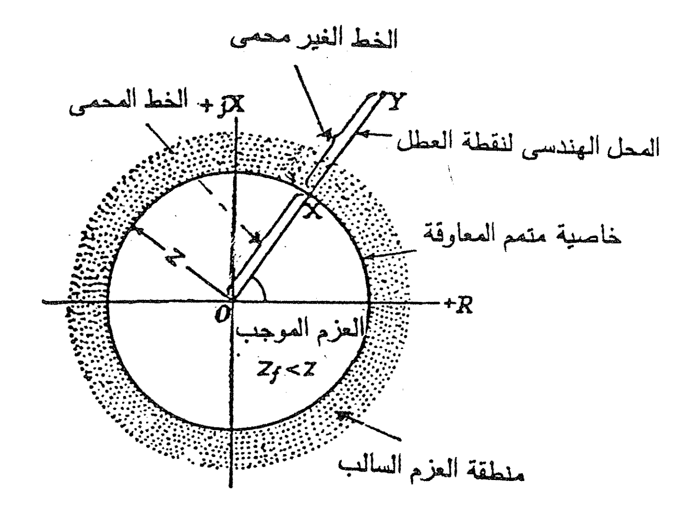


(هـ)

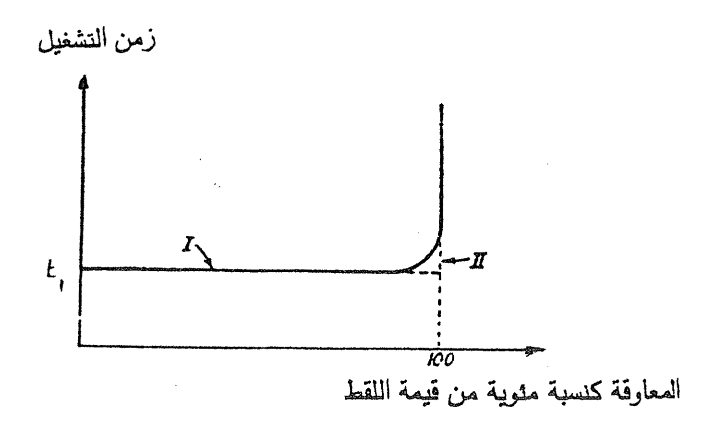


(و)

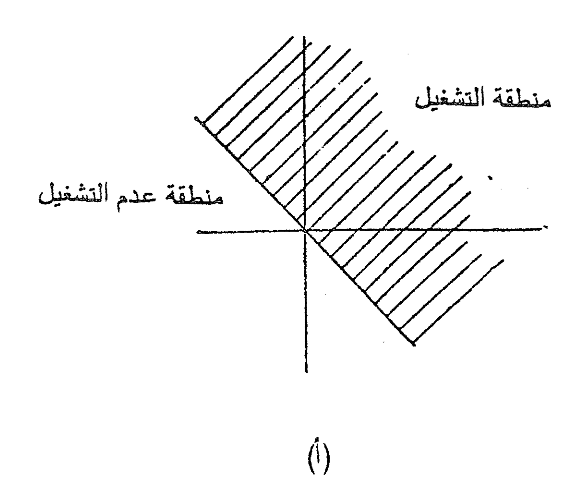
شكل (9-4)



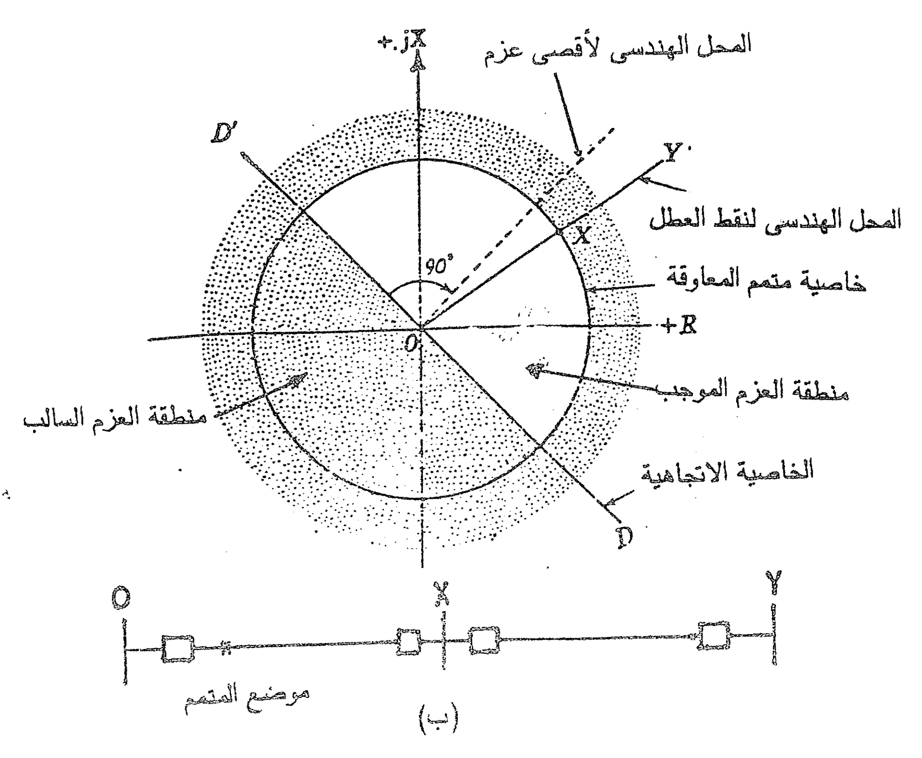
شكل (9-5) المحل الهندسى للمعاوقة Z



شكل (9-6) العلاقة بين المعاوقة وزمن التشغيل



(أ)



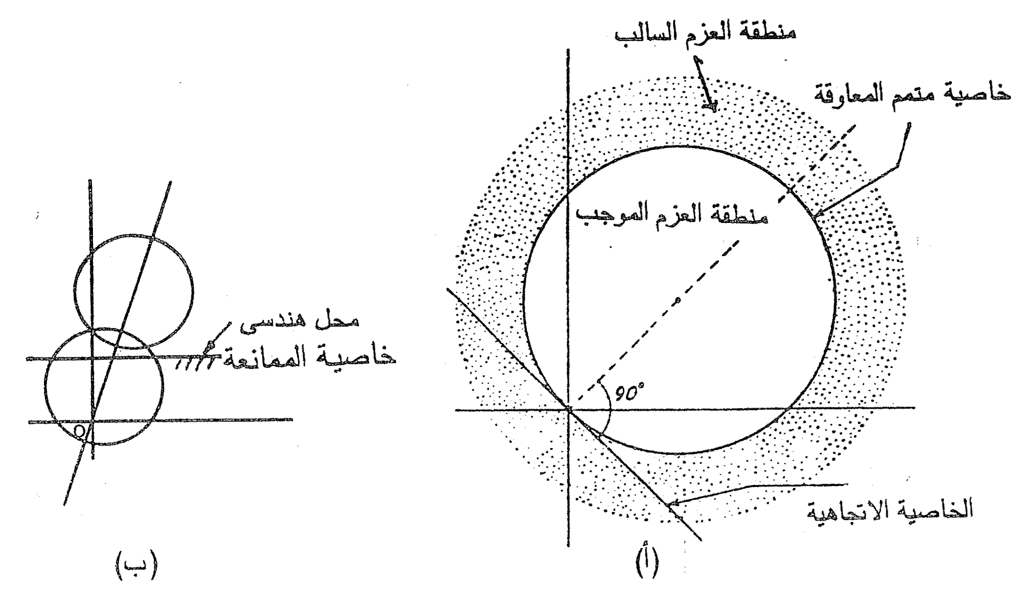
(ب)

شكل (7-9) خاصية متمم المعاوقة الاتجاهى

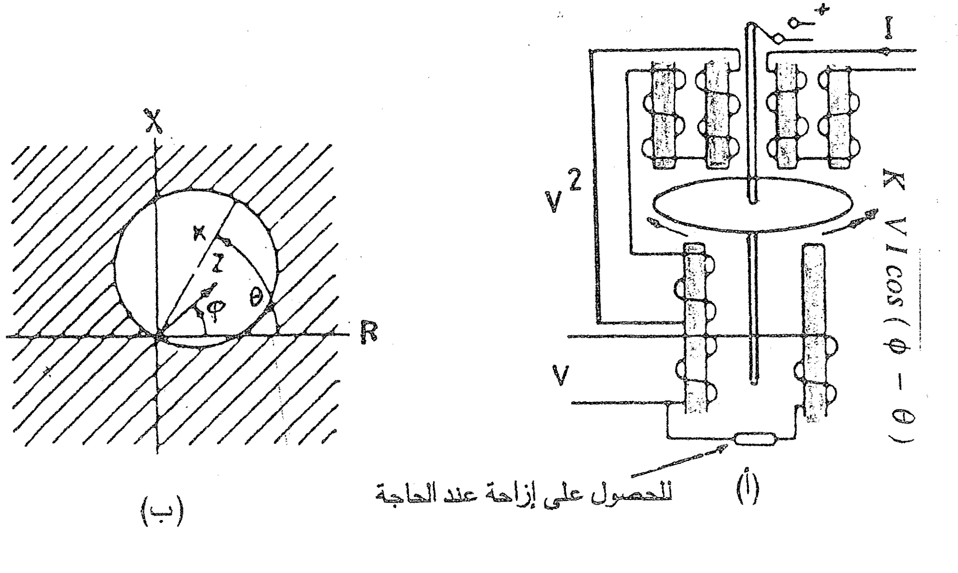
$$Z = \frac{V}{I} = K \cos(\phi - \theta)$$

ومن الأمثلة الأخرى للمتممات الكهرومغناطيسية المستخدمة للحصول على خاصية «مو» أو خاصية موازنة «مو» هو المتمم ذو الأسطوانة التأثيرية *(Induction cylinder)* والأقطاب المتعامدة ، والموضح بشكل *(9-10)*أ . ويعتبر أفضل من النوع ذى القرص حيث أن زمن تشغيله صغير جداً . وللحصول على خاصية «مو» ، أى الدائرة رقم *1* فى الشكل *(9-10)*ب فإن قيمة المعاوقة Z_b على المتمم تساوى الصفر ، ونحصل على حالة الإتزان (قفل نقطة التلامس) عندما تقع Z داخل الدائرة والتى تخضع للمعادلة :

$$Z = \frac{\cos(\phi - \theta)}{K}$$



شكل (9-8) خاصية متمم المعاوقة الاتجاهى



شكل (9-9) المتمم ذات القرص التأثيرى

بينما للحصول على خاصية موازنة «مو» فإن Z_b لا تساوى الصفر ولكن تضبط تبعاً لقيمة معاوقة مصدر التغذية للخط ، وتخضع للدائرة رقم 2 بشكل (9-10)ب ونحصل على حالة الإتزان تبعاً للمعادلة :

$$Z = \frac{\cos(\phi - \theta)}{K} - Z_b$$

وقد أمكن الحصول على إزاحة للدائرة عن طريق ملف تعويض للتيار ، نحصل منه على العلاقة IZ_b بدائرة الكبح *(Restraining circuit)* .

ج) متمم الوقاية المسافية من نوع الممانعة

Reactance type distance relay

إن خاصية متمم الممانعة عبارة عن خط مستقيم يوازى المحور R وعلى بعد ثابت X . وتكون X هى ممانعة الخط من نقطة العطل وحتى موضع المتمم .

وتتكون وحدة قياس الممانعة من جزئين هما :

* عنصر وقاية ضد زيادة التيار نحصل منه على عزم موجب .

* عنصر إتجاهى يخضع للعلاقة $VI\cos\phi$ ونحصل منه على عزم موجب أو سالب . بمعنى آخر أن متمم الممانعة عبارة عن وقاية ضد زيادة التيار بعنصر كبح إتجاهى . نحصل على أقصى عزم سالب من العنصر الاتجاهى عندما يكون التيار متأخراً عن الجهد بزاوية $90°$ (أى عندما ϕ تساوى $-90°$) .

وتكون معادلة عزم التشغيل كالآتى :

$$T = K_1 I^2 - K_2 \cdot V I \cos(\phi - \theta) - K_3$$

حيث V : الجهد المسلط على ملف الجهد .

I : التيار المار بملف التيار .

ϕ : الزاوية بين V, I

θ : زاوية أقصى عزم .

K_3 : ثابت ياى المتمم .

للحصول على أقصى عزم تكون الزاوية θ مساوية $90°$ ، وتصبح معادلة العزم كالآتى :

$$\therefore \cos(\phi - \theta) = \sin\phi$$

$$\therefore T = K_1 I^2 - K_2 V I \sin\phi - K_3$$

بالتعريض عن T بالصفر نحصل على حالة بداية التشغيل

$$\therefore K_1 I^2 = K_2 V I \sin\phi - K_3$$

وبإهمال تأثير الياى :

$$\therefore \frac{V}{I} \sin\phi = Z \sin\phi = X$$

$$\therefore X = \frac{K_1}{K_2} = K$$

وبذلك نحصل على معادلة متمم الممانعة وهى عبارة عن خط مستقيم يوازى المحور R وتكون قيمة ضبط الممانعة تساوى $\frac{K_1}{K_2}$، ويوضح شكل *(9-11)* خاصية المتمم ، ونحصل على عزم تشغيل موجب لجميع النقط أسفل المحل الهندسى لخاصية المتمم .

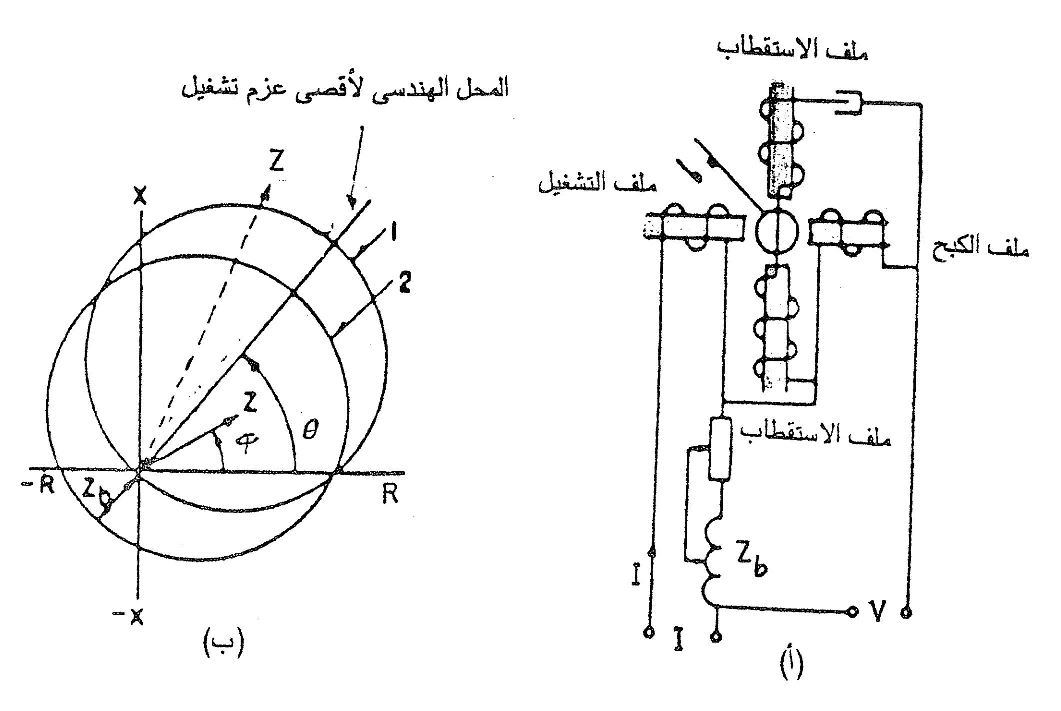
ويوضح شكل *(9-12)* فكرة متمم الممانعة من نوع الإسطوانة التأثيرية ذات الأقطاب الأربعة *(4-Pole induction cylinder)* حيث يغذى ملف التشغيل بالتيار ، وملف الكبح بالجهد بينما ملفى المستقطب *(Polarizing coils)* تتغذى أيضاً بالتيار ، وتخضع حالة الإتزان للمعادلة الآتية :

$$X = Z \cos(\phi - 90) = K$$

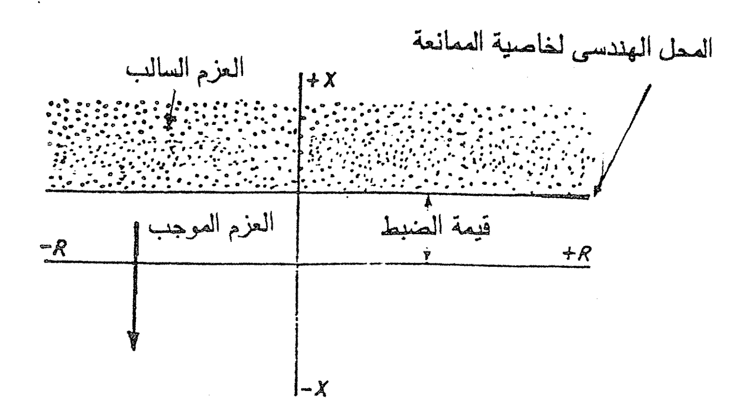
ويعمل المتمم عندما تكون Z أسفل المحل الهندسى لخاصية الممانعة ، أى فى المنطقة غير المظللة بشكل *(9-12)*ب.

كذلك يمكن الحصول على نفس الخاصية بإستخدام المتمم ذى الصحن التأثيرى بأربعة أقطاب *(4-Pole induction cup)* والذى يحتوى على قلب حديدى فى مركز الدائرة المغناطيسية ، بالإضافة الى ملفى تيار وملفى جهد ، كما فى شكل *(9-13)* .

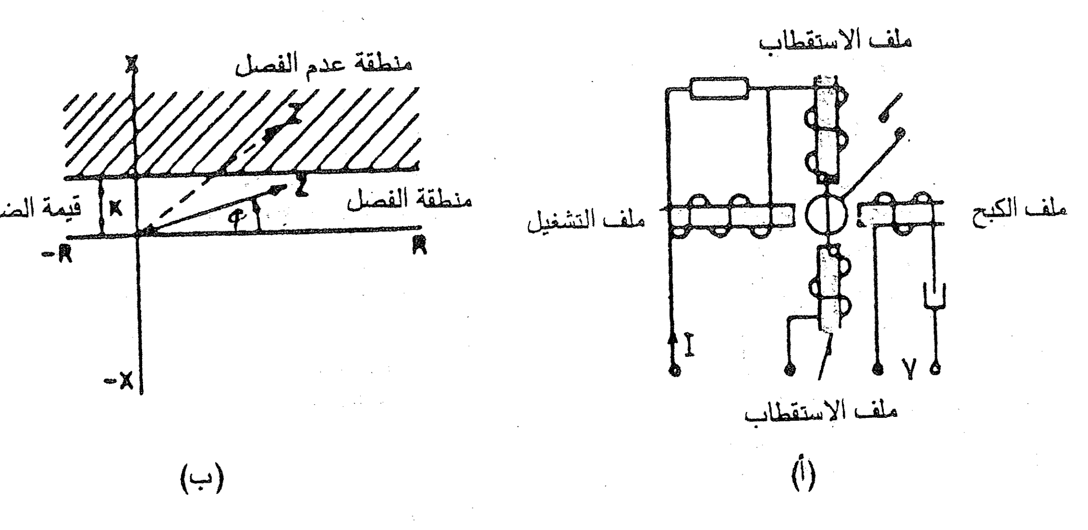
كذلك يمكن إعتبار متمم الممانعة عبارة عن عنصر إتجاهى مقيد بجهد كبح *(Voltage restraining directional)* ، وفى هذه الحالة يخضع المتمم لمعادلة عزم



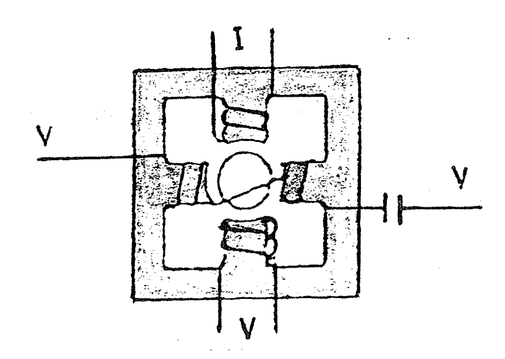
شكل (10-9) المتمم ذو الاسطوانة التأثيرية والأقطاب المتعامدة



شكل (11-9) المحل الهندسى لمتمم خاصية الممانعة



شكل (9-12) متمم الممانعة من نوع الاسطوانة التأثيرى ذات الأقطاب الأربعة



شكل (9-13) المتمم ذوالصحن التأثيرى بأربعة أقطاب

التشغيل الآتية :

$$T = K_1 V I \cos(\phi - \theta) - K_2 V^2 - K_3$$

حيث θ : زاوية أقصى عزم تشغيل .

K_3 : ثابت ياى التحكم .

وتكون حالة بداية التشغيل ، مع إهمال K_3 ، كالآتى :

$$K_2 V^2 = K_1 V I \cos(\phi - \theta)$$

$$\therefore\ Z = \frac{K_1}{K_2} \cos(\phi - \theta)$$

وهى معادلة متمم ممانعة ذات جهد كبح *(Voltage restrained reactance relay)* ويكون المحل الهندسى عبارة عن دائرة يمر محيطها بنقطة الأصل والموضحة بشكل *(9-8)* وذلك على المحاور R, X وهى نفس خاصية متمم «مو» السابق ذكرها . وبإضافة عنصر ممانعة له الخاصية الموضحة بشكل *(9-11)* يمكن الحصول على محل هندسى محدد بدقة لمتمم الممانعة وهو الموضح بشكل *(9-8)* ويتضح مما سبق أنه يمكن الحصول على الخصائص (أو المحل الهندس لنقطة العطل) الآتية بإستخدام متممات الوقاية المسافية الكهرومغناطيسية :

* خاصية المقاومة *(Ohm characteristic)* ، وهى عبارة عن خط مائل يمثل Z على الإحداثيات X, R .
* خاصية «مو» *(Mho characteristic)* عبارة عن دائرة تمر بنقطة الأصل .
* خاصية موازنة «مو» *(Offset Mho characteristic)* عبارة عن دائرة تقع نقطة الأصل داخلها أو خارجها وليست مركزها .
* خاصية المعاوقة *(Impedance characteristic)* عبارة عن دائرة مركزها نقطة الأصل .
* خاصية المعاوقة الإتجاهية *(Directional impedance characteristic)* عبارة عن نصف دائرة محددة بخط إتجاهى يمر بمركزها ونقطة الأصل .
* خاصية الممانعة *(Reactance characteristic)* عبارة عن خط مستقيم على بعد X من الإحداثيات $R, -R$.

ومعنى ذلك أن جميع الخصائص تنحصر فى الدائرة أو الخط المستقيم للمحور R أو خط مستقيم مائل . وقد أمكن الحصول عليها جميعاً نتيجة مقارنة المعاوقة المضبوطة على المتمم (والممثلة لمعاوقة الخط) مع النسبة بين الجهد V عند المتمم إلى التيار I المار بالمتمم أى مقارنة Z مع V/I .

فمثلاً : $V/I = Z$ حدوث عطل عند نهاية الخط .

$V/I < Z$ حدوث عطل داخلى (على الخط) .

$V/I > Z$ حدوث عطل خارجى .

ومن الناحية العملية يوجد بالمتمم معاوقة بديلة Z_r *(Replica impedance)* توصل على التوالى مع الملف الثانوى لمحولات التيار ، والتى تتناسب مع معاوقة التتابعية الموجبة *(Positive sequence impedance)* للخط ويقارن الجهد الحادث عليها بالجهد الثانوى لمحول الجهد ، كما فى شكل *(9-14)* أ ، ولو فرضنا أن التيار الثانوى المار بالمعاوقة Z_r هو i وأن الجهد الثانوى v فإن المتمم يعمل عندما يتحقق الشرط الآتى :

$$i Z_r > v$$

أو

$$Z_r > v/i$$

أو

$$Z_r > Z$$

بينما لا يعمل المتمم فى حالة :

$$Z_r < Z$$

معنى ذلك أن المتمم لا يعمل إذا كانت المعاوقة Z التى يراها المتمم أكبر من قيمة المعاوقة البديلة Z_r المضبوطة على المتمم ، ويعمل المتمم إذا كانت المعاوقة Z أصغر من المعاوقة البديلة Z_r ، ويوضح شكل *(9-14)*ب ان الجهد المقاس عند المتمم يتغير بتغير مكان العطل .

تحديد المراحل لمتممات الوقاية المسافية *Steps of Distance Relay*

سبق أن ذكرنا أن المتمم يقيس معاوقة الجزء العاطل بالخط ولكن فى الحقيقة أنه يقيس معاوقة أكبر من المعاوقة الحقيقية للجزء العاطل حيث أنه يقيس أيضاً معاوقة الحمل . وفى بعض حالات الأعطال ، التى يكون لها معاوقة مع الأرضى ، فإن

معاوقة العطل تضاف إلى معاوقة الجزء العاطل من الخط ، ونتيجة لذلك تكون المعاوقة التى يقيسها المتمم أكبر من معاوقة الجزء الذى حدث به العطل ، بالإضافة إلى ذلك فإن المتمم يقارن النسبة *v/i* والتى تعتمد على درجة دقة محولات القياس ، وبناء على ذلك فإن دقة المتمم لا يمكن أن تكون *100%* . ومن العوامل التى تسبب عدم دقة القياسات :

* الأخطاء العابرة *(Transient errors)* بمحولات التيار والجهد .
* الأخطاء فى دوائر القياس داخل المتمم .
* الأخطاء الناتجة من العمليات الحسابية لتحويل بيانات الخط إلى معاوقة وضبطها على المعاوقة البديلة للمتمم .

وللتغلب على ذلك صممت متممات الوقاية المسافية ذات مراحل *(Steps)* ، المرحلة جزء من الخط ،وعادة يحتوى المتمم على وسيلة لضبط قيم المراحل وزمن كل مرحلة، وتكون المراحل كالآتى ، كما فى شكل *(9-15)* :

* المرحلة الأولى *The first step* :

تضبط لحدود من *80%* إلى *90%* من طول الخط من مكان تركيب المتمم ويكون زمن تشغيل هذه المرحلة لحظى (حوالى من *20* إلى *40* مللى ثانية) .

* المرحلة الثانية *The second step* :

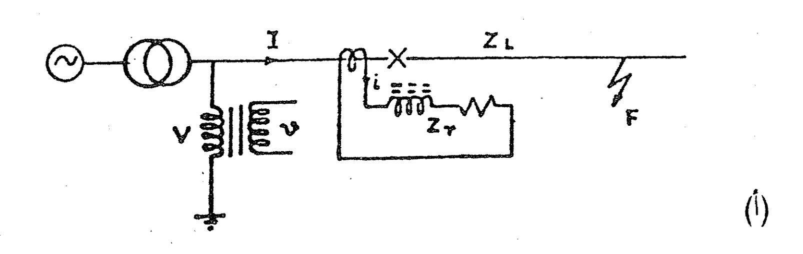
تضبط بحيث تغطى حوالى *30%* من الخط التالى للخط المركب عليه المتمم ويكون التأخير الزمنى لتشغيل المرحلة الثانية حوالى *0.2* إلى *0.5* ثانية والذى يضبط على موقت المرحلة الثانية .

* المرحلة الثالثة *The third step* :

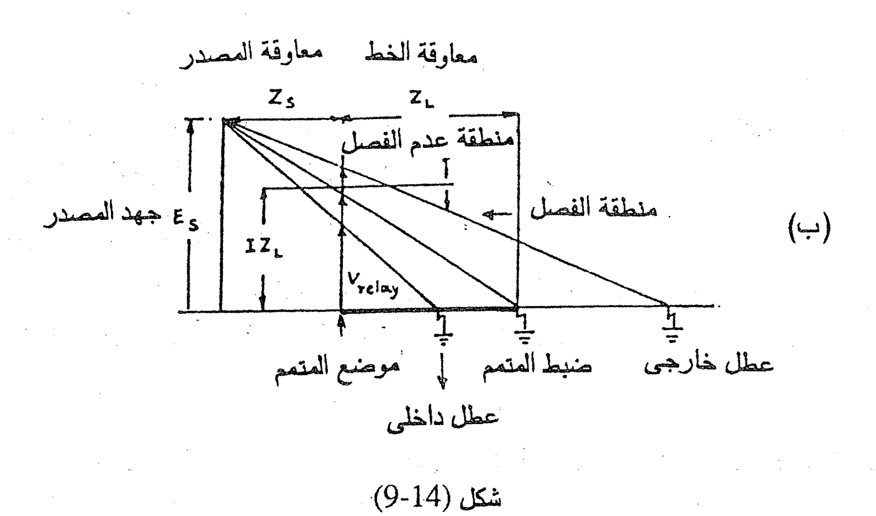
وتضبط بحيث تغطى الخط التالى للخط المركب عليه المتمم ، وتعتبر كوقاية إحتياطية *(Back-up)* للأعطال على الخط التالى ، ويكون التأخير الزمنى لتشغيل المرحلة الثالثة حوالى من *0.4* إلى *1* ثانية والذى يضبط على مؤقت المرحلة الثالثة .

وسوف نوضح فيما يلى هذه المراحل للخصائص المختلفة لمتممات الوقاية المسافية :

1) يوضح شكل *(9-16)*أ إستخدام ثلاثة أنصاف دائرة محددة بمحل هندسى

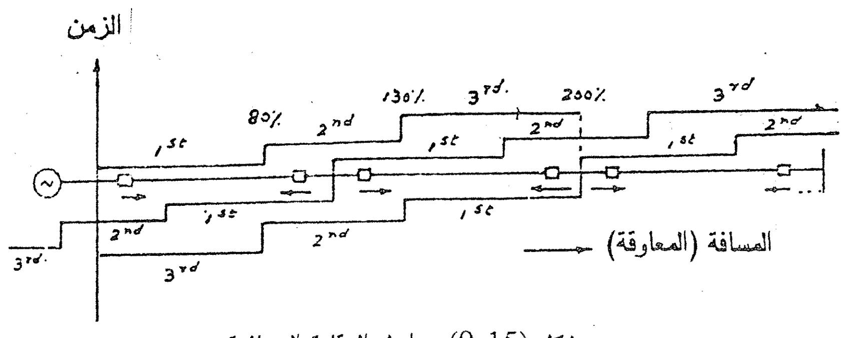


(أ)



(ب)

شكل (9-14)



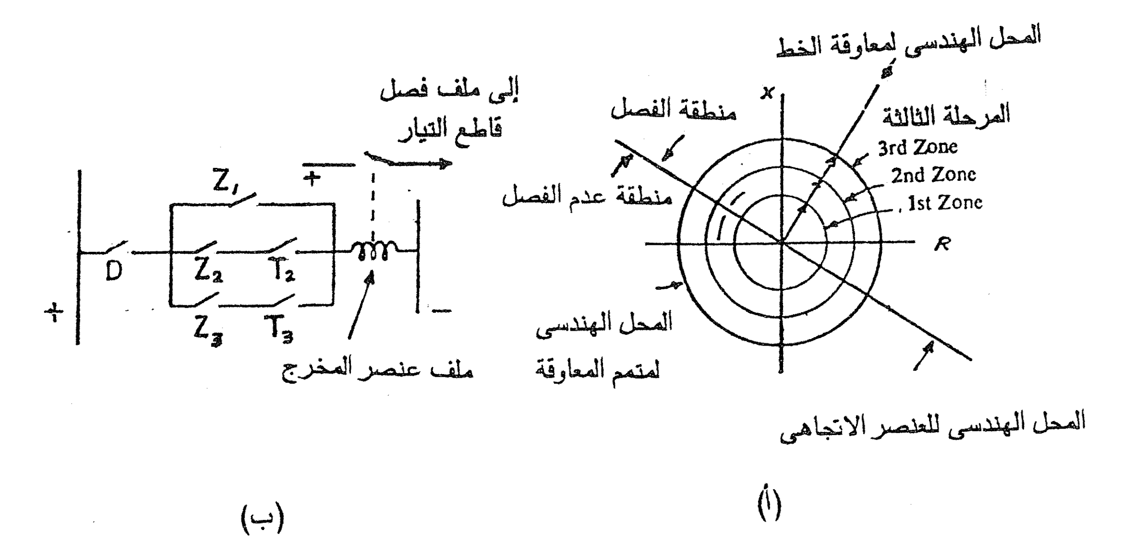
شكل (9-15) مراحل الوقاية المسافية

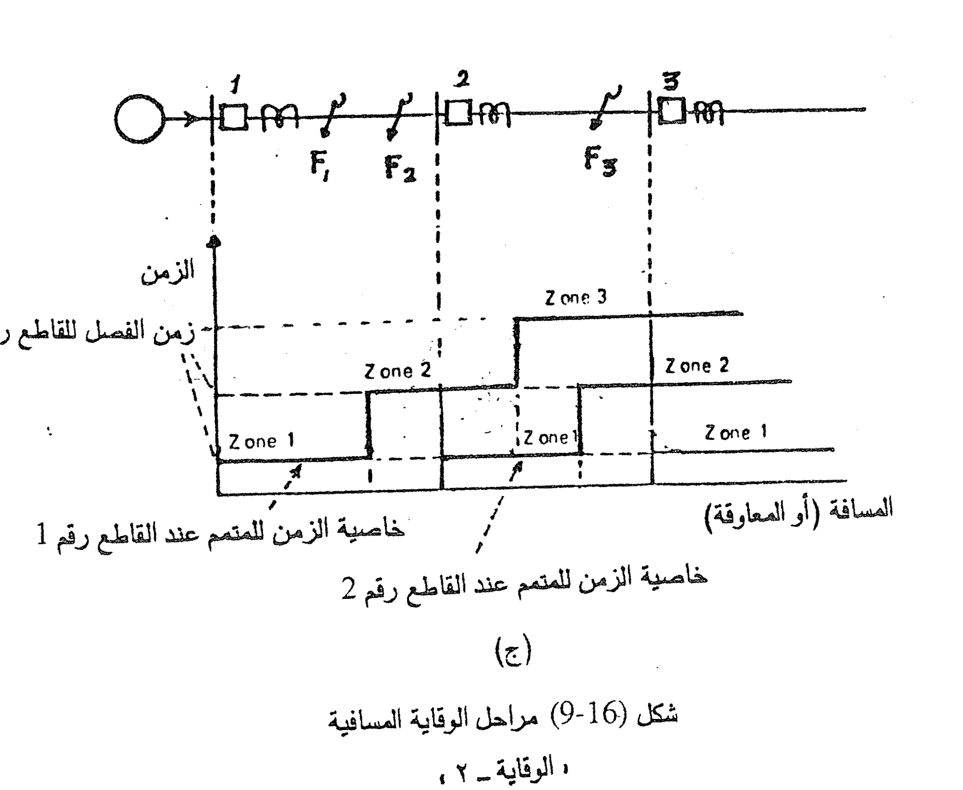
لعنصر إتجاهى وتمثل الدائرة الأولى المرحلة الأولى *1st step* ، وتمثل الدائرة الثانية المرحلة الثانية *2nd step* بينما الدائرة الثالثة تمثل المرحلة الثالثة *3rd step* . أى يمثل الشكل خاصية متمم معاوقة إتجاهى ذو ثلاثة مراحل ، وعلى ذلك فعند حدوث عطل على الخط يحدد عنصر القياس فى أى مرحلة يقع العطل وذلك عن طريق المقارنة بين معاوقة الجزء العاطل ومعاوقة الضبط ، وفى نفس الوقت يعمل العنصر الإتجاهى تبعاً للإتجاه المضبوط عليه . كما يوضح شكل *(9-16)*ب دائرة فصل قاطع التيار لهذه الخاصية ويوضح شكل *(9-16)* ج التدريج الزمنى لمراحل المتمم عند القاطع رقم *1* ، وكمثال :

* عطل عند الوضع F_1 :
  * يعمل العنصر الإتجاهى وتقفل نقط التلامس *D* .
  * العطل فى المرحلة الأولى ، ولذلك تقفل نقط تلامس المرحلة الأولى Z_1 مما يؤدى إلى إمداد ملف عنصر المخرج بالطاقة وبالتالى إعطاء أمر بفصل قاطع التيار رقم *1* .
* عطل عند الوضع F_2 :
  * يعمل العنصر الإتجاهى وتقفل نقط التلامس *D* .
  * العطل فى المرحلة الثانية ، ولذلك تقفل نقط تلامس المرحلة الثانية Z_2 ويعمل مؤقت المرحلة الثانية وتقفل نقط تلامسه T_2 بعد زمن معين ويؤدى ذلك إلى إشتغال عنصر المخرج وإعطاء أمر بفصل قاطع التيار رقم *1* .
* عطل عند الوضع F_3 :
  * يعمل العنصر الإتجاهى وتقفل نقط التلامس *D* .
  * العطل فى المرحلة الثالثة ، ولذلك تقفل نقط تلامس Z_3 ويعمل المؤقت وتقفل نقط تلامسه T_3 بعد زمن الضبط ويؤدى ذلك إلى إشتغال عنصر المخرج وإعطاء أمر بفصل قاطع التيار رقم *1* .

2) ويوضح شكل *(9-17)* خاصية متمم ممانعة ذات ثلاثة مراحل وعنصر إتجاهى *(3-step reactance relay with directional)* عبارة عن :

* العنصر الإتجاهى ، يخضع لخاصية «مو» *(Mho characteristic)* .
* المرحلة الأولى ، تخضع لخاصية الممانعة *(Reactance characteristic)* بقيمة ضبط X_1 .





شكل (9-16) مراحل الوقاية المسافية

* المرحلة الثانية تخضع أيضاً لخاصية الممانعة بقيمة ضبط X_2 .
* المرحلة الثالثة هى المنطقة بين المحل الهندسى للمرحلة التالية وحدود العنصر الاتجاهى .

وتمثل دائرة فصل المفتاح (قاطع التيار) لهذه الخاصية بنفس الشكل الموضح فى المثال السابق ، أى الشكل *(9-16)*ب،ج .

3) كما يوضح شكل *(9-18)*أ مثالاً لمتمم وقاية مسافية ذو مرحلتين «مو» ومرحلة موازنة «مو» *(3-step Mho and Offset Mho distance relay)* عبارة عن :

* المرحلة الأولى تخضع لخاصية «مو» *(Mho characteristic)*
* المرحلة الثانية تخضع لخاصية «مو» .
* المرحلة الثالثة تخضع لخاصية موازنة «مو» *(Offset Mho characteristic)*

وفى هذه الحالة لا يحتاج المتمم إلى عنصر إتجاهى منفصل ، حيث أن خاصية «مو» تعتبر أيضاً عنصر إتجاهى .

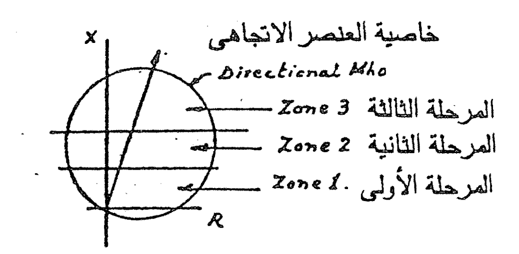
ويوضح شكل *(9-18)*ب دائرة فصل قاطع التيار لهذا المتمم ، فمثلاً عند إشتغال عنصر المرحلة الأولى تقفل نقط التلامس M_1 وتقوم بإمداد عنصر المخرج بالطاقة الذى بدوره يعطى إشارة بفصل قاطع التيار ... وهكذا ...

ثانياً : متممات الوقاية المسافية الاستاتيكية

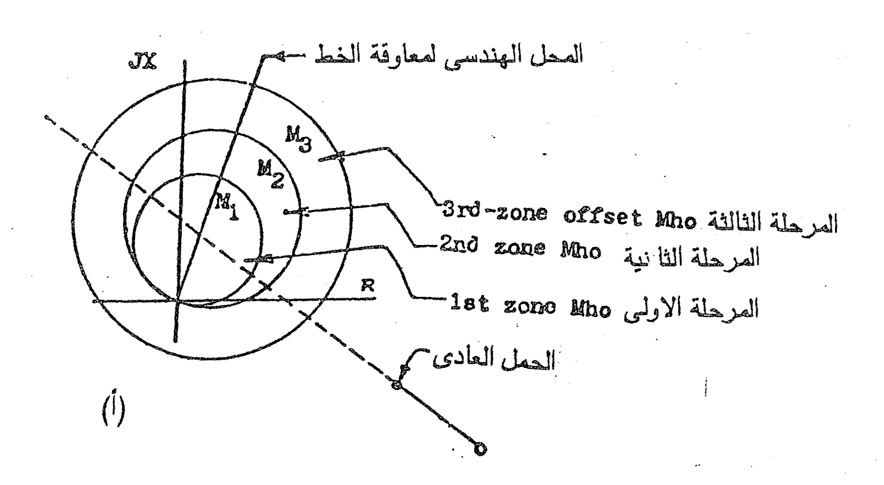
أحدث إستخدام العناصر الاستاتيكية فى متممات الوقاية المسافية تغيير كبير فى أشكال خصائص المتمم ، فإلى جانب الحصول على الخصائص الشائعة مثل الدائرة ، «مو» ، الممانعة ... (والتى أصبح الحصول عليها سهلاً جداً بإستخدام العناصر الاستاتيكية) أمكن الحصول على أية خاصية ، مثلاً : خاصية القطع الناقص *(Ellipse)*، والشكل الرباعى *(Quadrangular)* ، وشكل العدسة *(Lens)* ، وشكل الطماطم *(Tomato)* ، بالإضافة الى أشكال مركبة متعددة ، ويوضح شكل *(9-19)* بعض هذه الأشكال ... ومن مميزات متممات الوقاية المسافية الاستاتيكية :

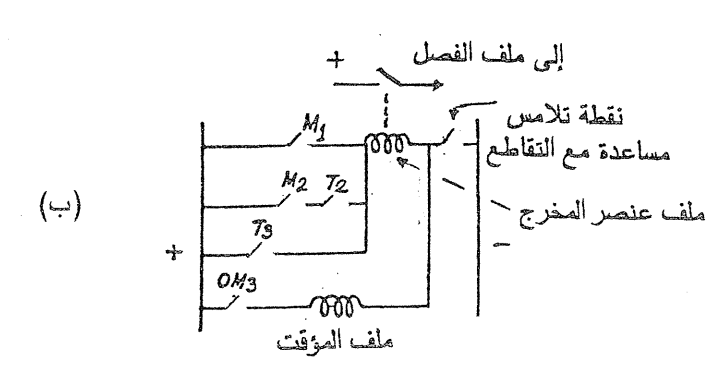
1) لا تحتوى على أجزاء متحركة فى دائرة القياس وبالتالى تفادى تأثير الإهتزازات والأتربة و ...

2) يكون العبء *(Burden)* أقل على محولات التيار ، فمثلاً يكون العبء *0.9* فولت

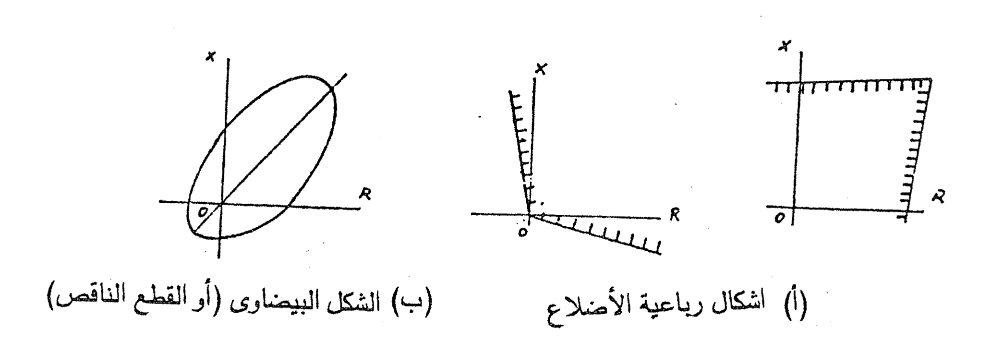


شكل (9-17) خاصية متمم ممانعة ذات ثلاثة مراحل وعنصر اتجاهى



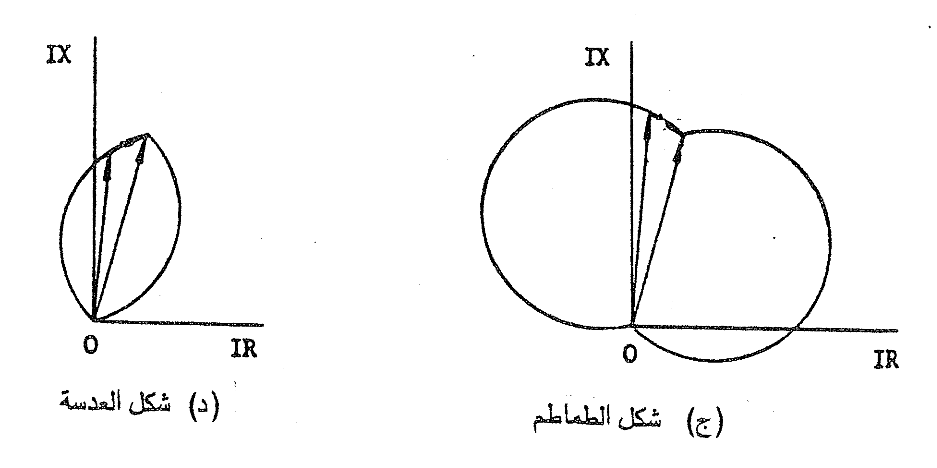


شكل (9-18) خاصية متمم وقاية مسافية « مو »



(ب) الشكل البيضاوى (أو القطع الناقص)

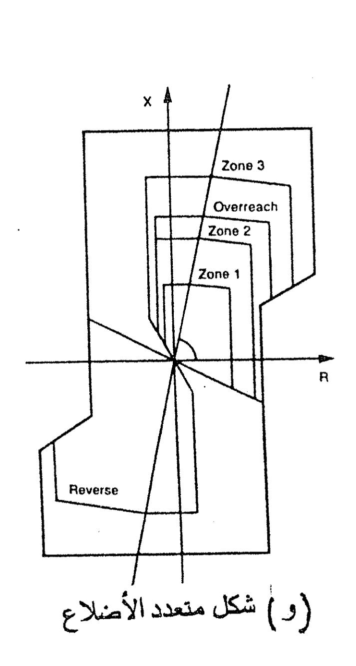
(أ) اشكال رباعية الأضلاع



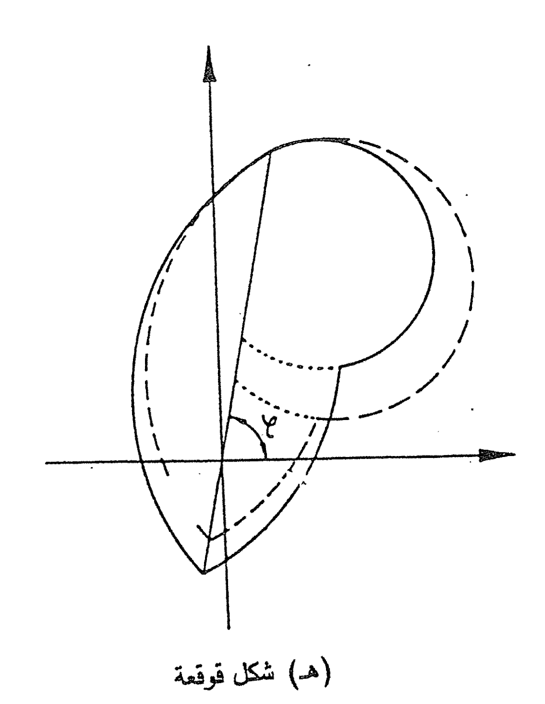
(د) شكل العدسة

(ج) شكل الطماطم

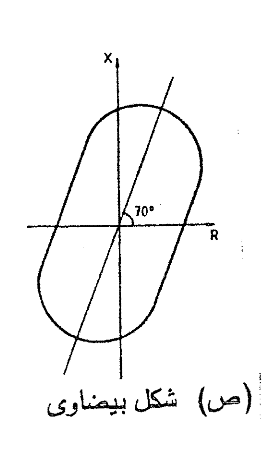
شكل (19-9) اشكال مختلفة لخصائص متممات الوقاية المسافية الاستاتيكية



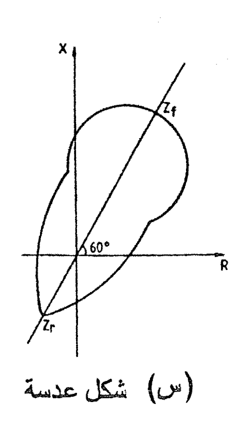
(و) شكل متعدد الأضلاع



(هـ) شكل قوقعة



(ص) شكل بيضاوى



(س) شكل عدسة

شكل *(9-19)*

« الوقاية ـ ٢ »

أمبير خلال حالات التشغيل العادية بينما يكون 4.2 ڤولت أمبير خلال حالات الأعطال .

3) يكون العبء أقل على محولات الجهد فمثلاً يكون العبء 2.2 ڤولت أمبير خلال حالات التشغيل العادية ويكون 12 ڤولت أمبير خلال حالات الأعطال .

4) يمكن الحصول على خصائص غير تقليدية مثل : القطع الناقص ـ الشكل الرباعى ـ شكل العدسة ...

5) الإستقرار *(Stability)* العالى للمتممات فى حالة تأرجح القدرة *(Power swing)*

6) مناسبته للإستخدام فى حالات الخطوط الطويلة ذات الأحمال العالية .

7) يمكن الحصول منه على قيم ضبط صغيرة للمعاوقة .

8) الحصول على زمن فصل سريع جداً للمرحلة الأولى .

فى بداية تصنيع متممات الوقاية الاستاتيكية إستخدمت مقارنات القيمة ومقارنات الزاوية بالتيار أو الجهد ، وكان المقارن عبارة عن قنطرتى توحيد .

يوضح شكل *(9-20)* الصورة العامة لمقارن يحتوى على مدخلين S_1 , S_2 يخضعان للمعادلتين :

$$\overline{S_1} = K_1 \overline{A} + K_2 \overline{B}$$

$$\overline{S_2} = K_3 \overline{A} + K_4 \overline{B}$$

حيث : A : إشارة المدخل للمتمم والتى يمكن أن تكون إما تيار I أو جهد V

B : إشارة المدخل للمتمم والتى يمكن أن تكون إما تيار I أو جهد V

K_1 , K_3 : ثوابت ليس لها إتجاه *(Scalar constant)* .

K_2 , K_4 : ثوابت لها إتجاه بالزاويتين θ_2 , θ_4 على التوالى .

بإعتبار A كمرجع فإن B تتأخر بزاوية ϕ عن A وبذلك تصبح S_1 , S_2 كالآتى :

$$S_1 = K_1 /A/ + K_2 /B/ \{ cos (\theta_2 - \phi) + j sin (\theta_2 - \phi) \}$$

$$S_2 = K_3 /A/ + K_4 /B/ \{ cos (\theta_4 - \phi) + j sin (\theta_4 - \phi) \}$$

فى حالة مقارن القيمة *(Amplitude comparator)* تكون :

حالة التشغيل $/S_1/ \geq /S_2/$

وحالة بداية التشغيل $/S_1/ = /S_2/$

وفى حالة مقارن الزاوية *(Phase comparator)* فإن المدخلين يكونان :

$S_1 \angle \alpha \ , \ S_2 \angle \beta$

وتكون حالة التشغيل $-\beta_1 \leq (\alpha + \beta) \leq \beta 2$

حيث : β_1 , β_2 هما حدود زوايا التشغيل .

وعلى ذلك يمكن بإستخدام مقارنات القيمة أو الزاوية بإشارات مداخل تيار أو جهد الحصول على الخصائص المختلفة لمتممات الوقاية المسافية الاستاتيكية . وتكون عادة إشارة المدخل للمتمم عبارة عن تيار وجهد ولكن يتم تحويلها داخل المتمم أما إلى تيار وتيار أو إلى جهد وجهد كما سيتضح فيما بعد .

ويوضح شكل *(21-9)* تمثيل مبسط لمتمم الوقاية المسافية الاستاتيكية حيث يتم توصيل أطراف الجهد ، من الملف الثانوى لمحولات الجهد ، إلى محول جهد مساعد ويتم تحويل مخرجه إلى تيار ثم يقارن هذا التيار بتيار المخرج من محول التيار المساعد ، ويعرف هذا النوع بمتمم الوقاية المسافية الاستاتيكية ذى مدخلى تيار ، كذلك يمكن إستخدام نفس التمثيل ولكن بتحويل تيار المدخل إلى جهد تم مقارنته بجهد المخرج من محول الجهد المساعد ويعرف هذا النوع بمتمم المسافية الاستاتيكية ذى مدخلى جهد .

ويوضح جدول *(1-9)* مداخل متممات الوقاية المسافية بإستخدام الجهد فقط وذلك فى حالتى مقارن القيمة ومقارن الزاوية .

ويوضح جدول *(2-9)* مداخل متممات الوقاية المسافية بإستخدام التيار فقط وذلك فى حالتى مقارن القيمة ومقارن الزاوية .

جدول (9-1)

Characteristic خاصية المتمم	Amplitude Comparator مقارن القيمة		Phase Comparator مقارن الزاوية	
	Operate معادلة التشغيل	Restrain معادلة الكبح	Measuring معادلة القياس	Polarize معادلة الاستقطاب
Directional الخاصية الاتجاهية	$(I Z_r + V)$	$(V - I Z_r)$	$I Z_r$	V
Impedance خاصية المعاوقة	$I Z_r$	V	$(I Z_r - V)$	$(I Z_r + V)$
Ohm (angle impedance) خاصية المقاومة	$(2 I Z_r - V)$	V	$(I Z_r - V)$	$I Z_r$
Mho (angle admittance) خاصية «مو»	$I Z_r$	$(2 V - I Z_r)$	$(I Z_r - V)$	V
Offset Mho خاصية موازنة «مو»	$I (Z_r - Z_b)$	$\{2V - I(Z_r - Z_b)\}$	$I (Z_r - Z_b)$	$(V - I Z_b)$

جدول (9-2)

Characteristic خاصية المتمم	Amplitude Comparator مقارن القيمة		Phase Comparator مقارن الزاوية	
	Operate معادلة التشغيل	Restrain معادلة الكبح	Measuring معادلة القياس	Polarize معادلة الاستقطاب
Directional الخاصية الاتجاهية	$(I + VY_r)$	$(V Y_r - I)$	I	$V Y_r$
Impedance خاصية المعاوقة	I	$V Y_r$	$(I + V Y_r)$	$(I - V Y_r)$
Ohm (angle impedance) خاصية المقاومة	$(2 I - VY_r)$	$V Y_r$	I	$(I - V Y_r)$
Mho (angle admittance) خاصية «مو»	I	$(2 V Y_r - I)$	$(I - V Y_r)$	$V Y_r$
Offset Mho خاصية موازنة «مو»	$\{2I - V(Y_r + Y_b)\}$	$V (Y_r - Y_b)$	$(I - V Y_r)$	$(V Y_b - I)$

حيث : Z_b قيمة معاوقة مصدر التغذية للخط .
Y_b مقلوب Z_b .

ويوضح شكل *(9-22)* مقارن الجهد *(Voltage comparison)* بإستخدام قنطرتى توحيد ، حيث يتم تحويل التيار I إلى الجهد $I Z_r$ ثم يقارن بالجهد V . وبذلك يكون مدخلا المقارن هما V , $I Z_r$.

ويوضح شكل *(9-23)* مقارن التيار *(Current comparison)* حيث يتحول جهد المدخل V إلى التيار V/Z_r أو $V Y_r$ من خلال المعاوقة البديلة *(Replica impedance)* المتصلة على التوالى فى الدائرة الثانوية للجهد ويقارن هذا التيار بتيار المدخل على القنطرة الأخرى ، وبذلك يكون مدخلا المقارن هما I , $V Y_r$ وفيما يلى أمثلة للحصول على خصائص متممات الوقاية المسافية بإستخدام مقارن قيمة التيار وبإتباع جدول رقم *(9-2)* .

أ) الخاصية الاتجاهية *Directional characteristic* :

من جدول رقم *(9-2)* فإن معادلتى التشغيل والكبح هما :

$$S_0 = I + V Y_r = I + \frac{V}{Z_r}$$

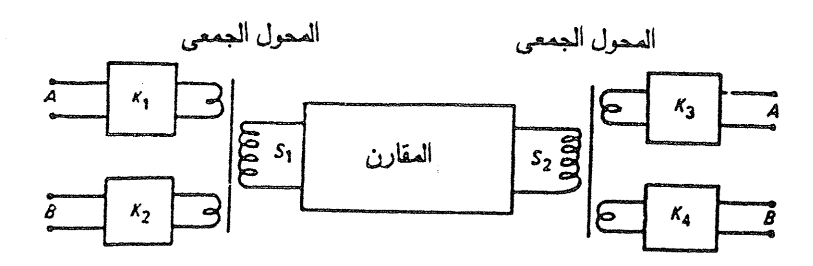
$$S_r = V Y_r - I = \frac{V}{Z_r} - I$$

وتتم عمليات الجمع والطرح للتيار من خلال محولات التجميع *(Summation transformers)* كما فى شكل *(9-24)* ، حيث يغذى المحول رقم *1* بالتيار I والتيار V/Z_r (الناتج من تحويل الجهد إلى تيار خلال المعاوقة البديلة Z_r) ومنه نحصل على تيار تشغيل I_0 طبقاً للمعادلة السابقة (أى أن $I_0 \; \alpha \; S_0$) .

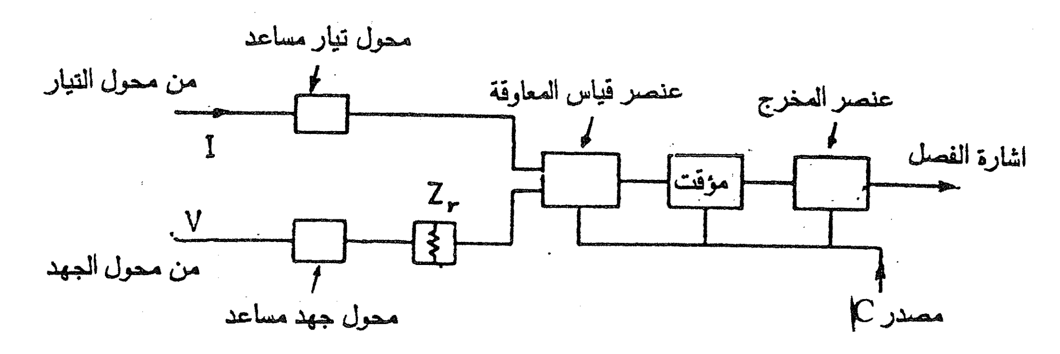
بينما يتغذى المحول رقم 2 بالتيار *(-I)* والتيار V/Z_r ومنه نحصل على تيار الكبح I_r طبقاً للمعادلة السابقة (أى أن $I_r \; \alpha \; S_r$) .

ونحصل على إشارة مخرج عندما يتحقق الشرط :

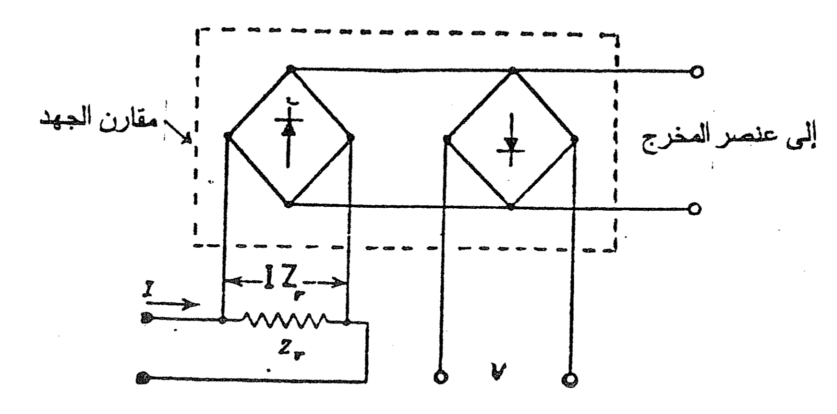
$$|I_0| > |I_r|$$



شكل (20-9) المقارن



شكل (21-9) تمثيل متمم الوقاية المسافية الاستاتيكية



شكل (22-9) مقارن الجهد

ب) خاصية المعاوقة *Impedance characteristic*

تكون معادلتى الكبح والتشغيل كالآتى :

$$S_0 = I$$

$$S_r = VY_r = \frac{V}{Z_r}$$

ونحصل على تيارى التشغيل والكبح من خلال محولات مساعدة ، كما فى شكل *(9-25)* .

ج) خاصية المقاومة *Ohm characteristic*

وتكون معادلتى التشغيل والكبح كالآتى :

$$S_0 = 2I - VY_r = 2I - \frac{V}{Z_r}$$

$$S_r = VY_r = \frac{V}{Z_r}$$

ويوضح شكل *(9-26)* الدائرة المكافئة .

د) خاصية «مو» *Mho Characteristic*

وتكون معادلتى التشغيل والكبح كالآتى :

$$S_0 = I$$

$$S_r = 2VY_r - I = \frac{2V}{Z_r} - I$$

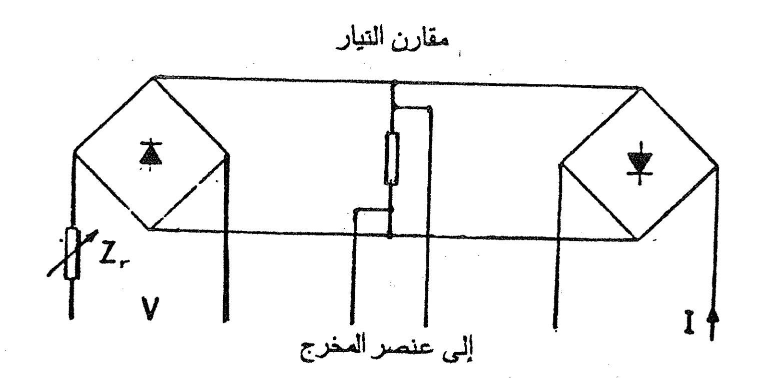
ويوضح شكل *(9-27)* قنطرتى توحيد (مقارن القيمة) للحصول على خاصية «مو» .

هـ) خاصية موازنة «مو» *Offset Mho characteristic* :

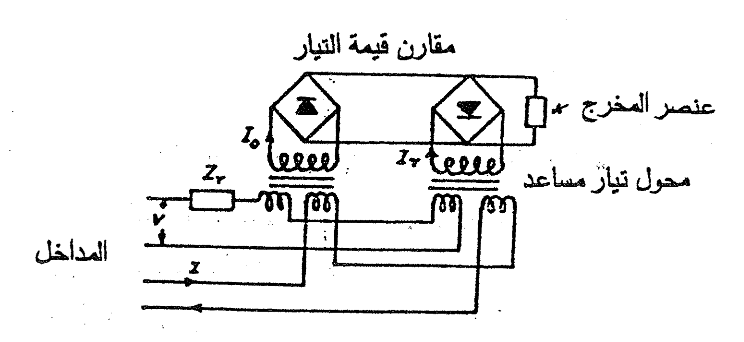
فى هذه الحالة فإن معادلتى التشغيل والكبح كالآتى :

$$S_0 = (IZ_r - V) + (IZ_b + V) = I(Z_r + Z_b)$$

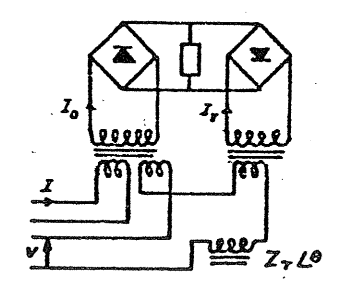
$$S_r = (IZ_r - V) - (IZ_b + V) = I(Z_r + Z_b) - 2V$$



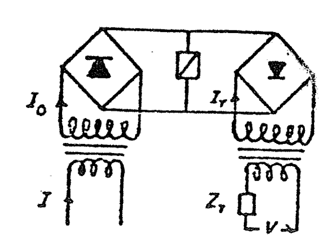
شكل (9-23) مقارن التيار



شكل (9-24) دائرة الخاصية الاتجاهية



شكل (9-26) دائرة خاصية المقاومة



شكل (9-25) دائرة خاصية المعاوقة

بفرض أن معادلة التشغيل بدلالة التيار فقط فيمكن كتابة المعادلات على الصورة الآتية :

$$S_0 = I$$

$$S_r = I \frac{Z_r - Z_b}{Z_r + Z_b} - \frac{2V}{Z_r + Z_b}$$

$$= CI - \frac{V}{Z_x}$$

حيث :

$$C = \frac{Z_r - Z_b}{Z_r + Z_b}$$

$$Z_x = Z_r + Z_b$$

ويوضح شكل *(9-28)* الدائرة المبسطة للحصول على خاصية موازنة «مو» .

و) خاصية «مو» بإستخدام جهد مستقطب *(Polarizing)* :

فى هذا النوع تستخدم ثلاثة مداخل هى :

1) مدخل التشغيل (التيار I) .

2) مدخل الكبح (الجهد V) .

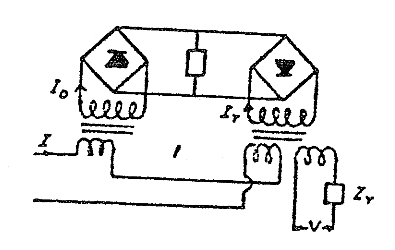
3) مدخل المرجع أو المدخل المستقطب (الجهد V_p) .

ويشترط وجود زاوية إختلاف بين جهد الكبح والجهد المستقطب ، بحيث تكون زاوية الجهد المستقطب ثابتة بالنسبة لجهد الكبح لذلك عندما تكون قيمة جهد الكبح مساوية للصفر فإن المتمم يعمل ونحصل على نفس الخاصية وتكون معادلتى التشغيل والكبح مع أخذ جهد الإستقطاب فى الإعتبار .

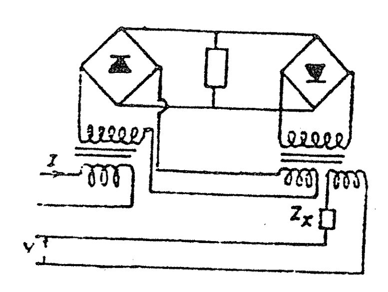
$$S_0 = I + \frac{V}{Z_r} - \frac{V_p}{Z_b}$$

$$S_r = I + \frac{V}{Z_r} + \frac{V_p}{Z_b}$$

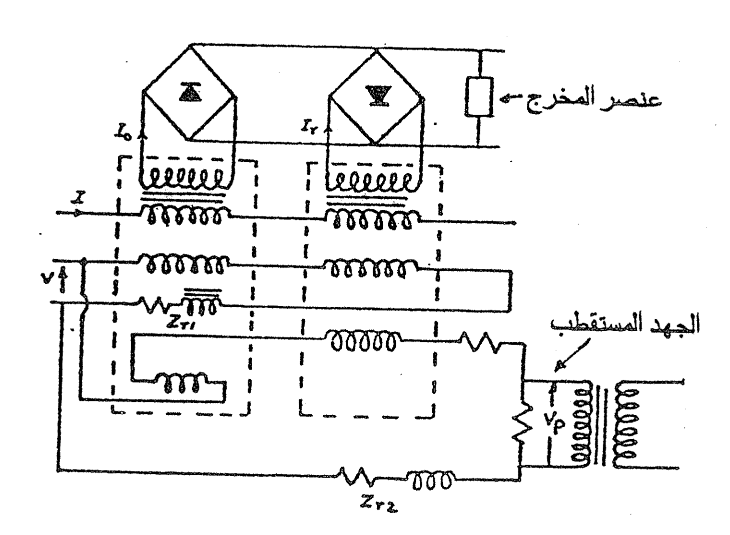
ويوضح شكل *(9-29)* الدائرة المبسطة للحصول على خاصية موازنة «مو» .



شكل (9-27) دائرة خاصية « مو »



شكل (9-28) دائرة خاصية موازنة « مو »



شكل (9-29) دائرة خاصية موازنة « مو »

فى جميع الأشكال التى إستخدم فيها قنطرتى توحيد لمقارنة تيارى التشغيل والكبح ، بعد عملية التوحيد ، تمر محصلة التيارين بملف عنصر المخرج *(Output unit)* ولكن يمكن أن تغذى المقاومة R_L بمحصلة التيارين وذلك لتحويل التيار $(i_L = i_0 - i_r)$ إلى جهد $(U_L = i_L R_L)$ ، هذا الجهد يغذى دائرة تقاطع صفرى *(Zero crossing)* ثم مكامل *(Integrator)* ثم كاشف مستوى *(Level detector)* ومؤقت *(Timer)* وفى النهاية ملف عنصر المخرج *(Output element)* . ويوضح شكل *(9-30)* تمثيل هذه الدوائر فى حالة متمم المعاوقة *(Impedance relay)* . ويلاحظ أن :

$$i_L = i_0 - i_r$$

$$i_r = \frac{V}{Z_r}$$

$$Z_r = \frac{V}{i_r} \qquad \text{———>} \qquad \text{معاوقة ضبط المتمم}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{Z_r i_r}{i_0}$$

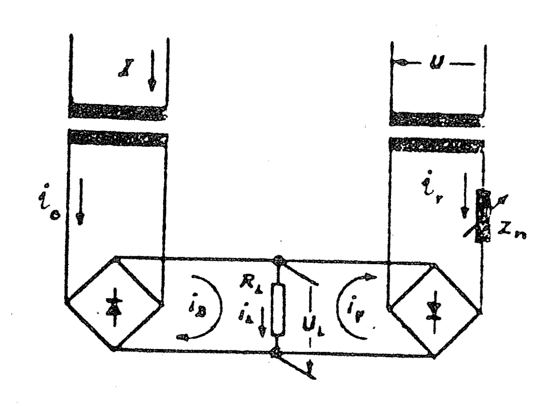
$i_r = i_0$ ——— $Z = Z_r$ حالة الإتـزان

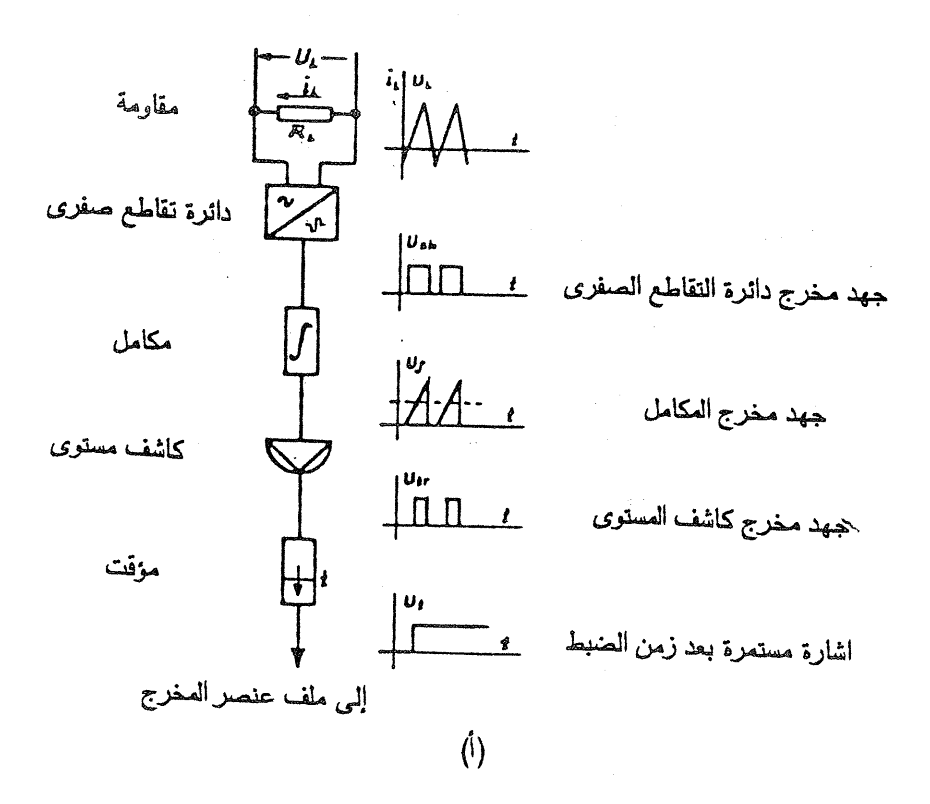
$i_r > i_0$ ——— $Z > Z_r$ عطل خارجى

$i_r < i_0$ ——— $Z < Z_r$ عطل داخلى

وقد تمثلت هذه الحالات الثلاثة فى الشكل *(9-30)*ب ويلاحظ أننا نحصل على مخرج من كاشف المستوى إذا كانت قيمة موجات المكامل تتعدى قيمة ضبط كاشف المستوى بينما إذا كانت تساويها أو أقل منها لا نحصل على إشارة مخرج .

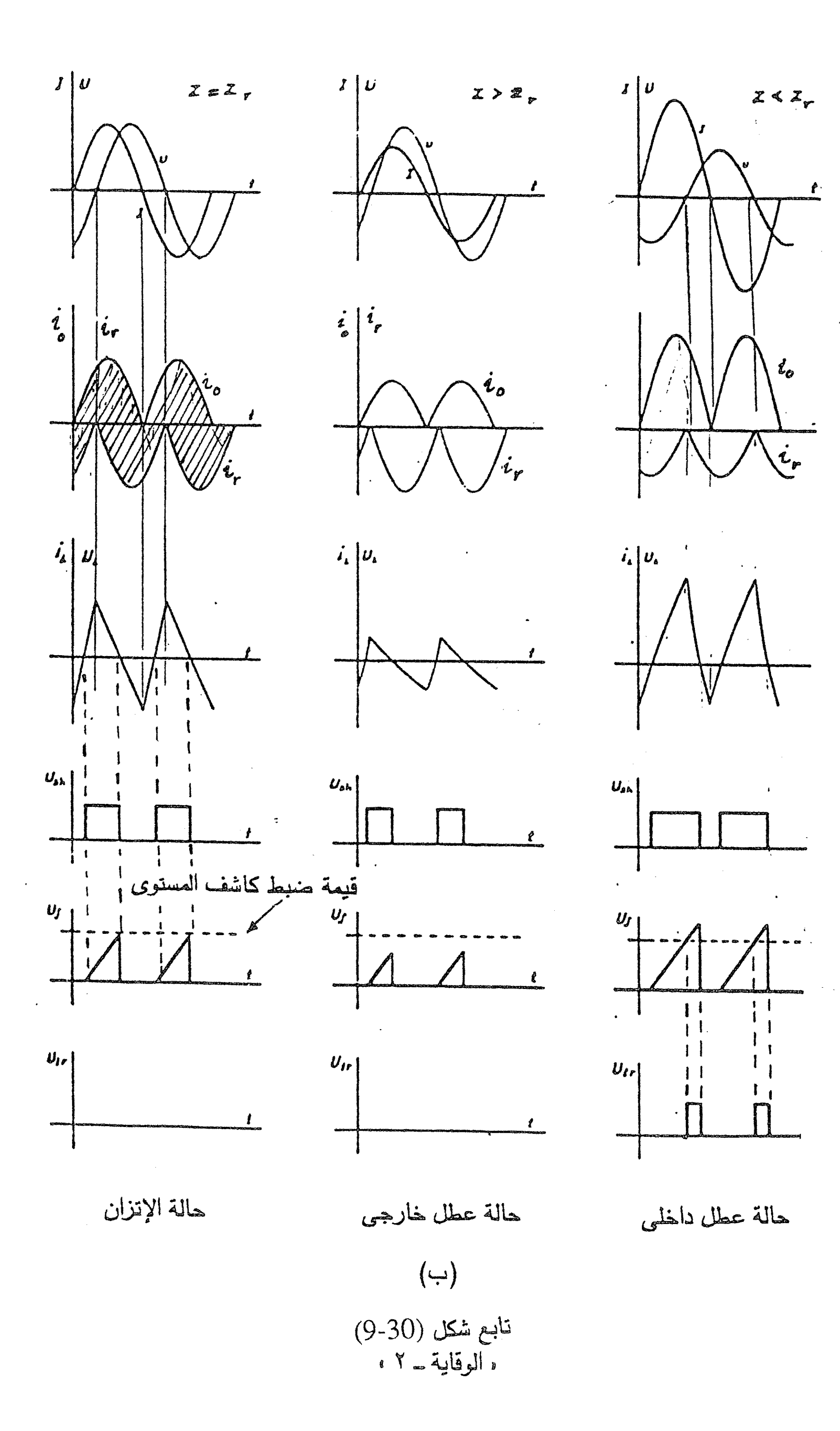
ويوضح شكل *(9-31)* المكونات الأساسية لمتمم الوقاية المسافية ذى خاصية موازنة «مو» لخط قدرة له معاوقة Z ويغذى من مصدر معاوقته Z_s ويعتمد تشغيل المتمم على مقارنة تيار التشغيل I_0 وتيار الكبح I_r ونحصل على إشارة مخرج لفصل قاطع التيار للخط عندما تكون $I_0 > I_r$ أى عندما تكون النسبة V/I أقل من قيمة الضبط Z_1 . أما





(أ)

شكل (9-30) متمم المعاوقة المسافية



(ب)

تابع شكل (30-9)

« الوقاية ـ ٢ »

إذا إنعكس إتجاه سريان القدرة فإن المتمم يعمل عندما تكون النسبة V/I أقل من Z_s ، والتى تكون عادة جزء من Z_1 (حيث $Z_s = K Z_1$ ، وتكون K أقل من الواحد) .

و) خاصية القطع الناقص *Ellipse characteristic*

للحصول على خاصية القطع الناقص يستخدم مقارن قيمة التيار ثلاثة مداخل من خلال ثلاثة قناطر توحيد ، كما فى شكل (9-32)أ ، وتكون المدخلات الثلاثة هى :

$$(V - Z_a I)\ ,\ (V - Z_b I)\ ,\ Z_c I$$

حيث : $Z_a\ ,\ Z_b$ معاوقات بديلة *(Replica Impedances)* لهما نفس زاوية معاوقة الخط .

ونحصل على مخرج (للدائرة فى شكل (9-32)أ يساوى صفر ، عندما تتحقق المعادلة الآتية :

$$|V - Z_a I| + |V - Z_b I| \le |(Z_a + Z_b) I|$$

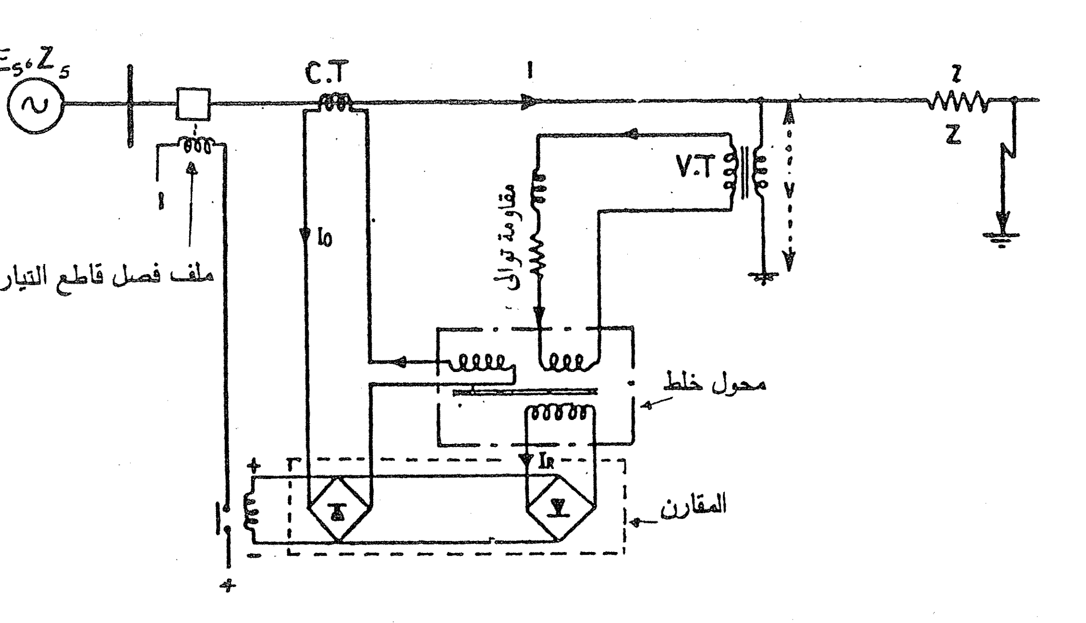
or

$$\left| \frac{V}{Z_a + Z_b} - \frac{Z_a I}{Z_a + Z_b} \right| + \left| \frac{V}{Z_a + Z_b} - \frac{Z_b I}{Z_a + Z_b} \right| \le I$$

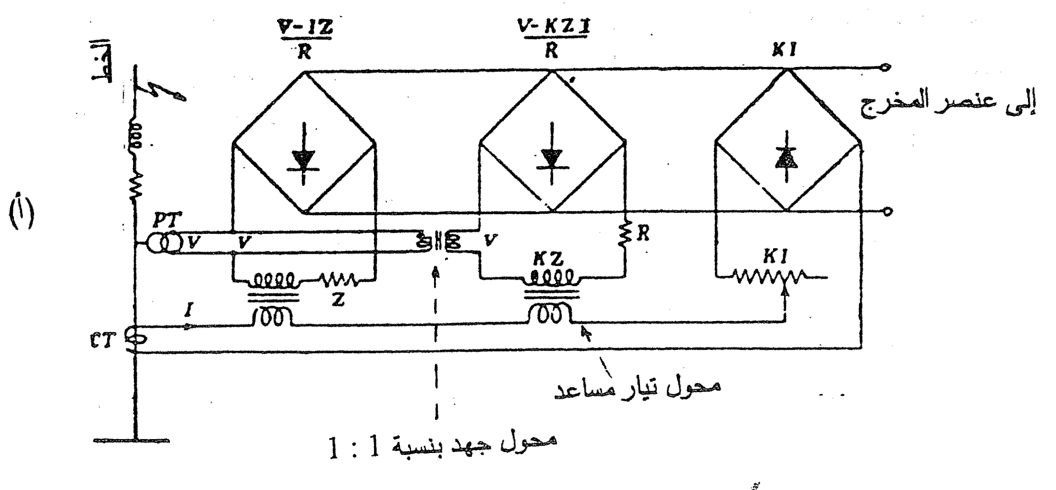
وبإستخدام هذه المعادلة يتحول الشكل (9-32)أ إلى الشكل (9-32)ب وفيه توضع المعاوقة البديلة فى مدخل دائرة الجهد بحيث تكون $Z_c = Z_a + Z_b$ ويمكن التحكم فى نقط التقسيم على الملفات الابتدائية لمحولات التيار المساعدة وذلك للتحكم فى النسب $Z_a / (Z_a + Z_b)\ ,\ Z_b / (Z_a + Z_b)$

ويكون المحل الهندسى للمعادلة السابقة عبارة عن قطع ناقص ، كما فى شكل (9-33)أ ، يمر بنقطة الأصل وبؤرتيه *(Focus)* هما $Z_a\ ,\ Z_b$ والقطر الأكبر يساوى $Z_a + Z_b$

ويمكن إزاحة المحل الهندسى للقطع الناقص بحيث يمر أحد بؤرتيه بنقطة الأصل، كما فى شكل (9-33)ب وذلك بالتحكم فى مدخلات المقارن بحيث تكون معادلة تشغيل المتمم :



شكل (31-9) متمم الوقاية المسافية ذو خاصية موازنة « مو »



(أ)

شكل (32-9) دائرة خاصية القطع الزائد

$$/Z - Z_a/ + /Z/ \leq /Z_a + 2Z_b/$$

كذلك يمكن الحصول على المحل الهندسى لقطع ناقص لا يمر بنقطة الأصل ولا تقع نقطة الأصل داخله ، كما فى شكل *(9-33)*ج وذلك بالتحكم فى قيم Z_a , Z_b .

ويتم الحصول على خاصية القطع الزائد *(Hyperbola)* ، كما فى شكل *(9-33)*د تبعاً للمعادلة :

$$/Z - Z_a/ - /Z - Z_b/ \leq /(Z_a + Z_b)\ /$$

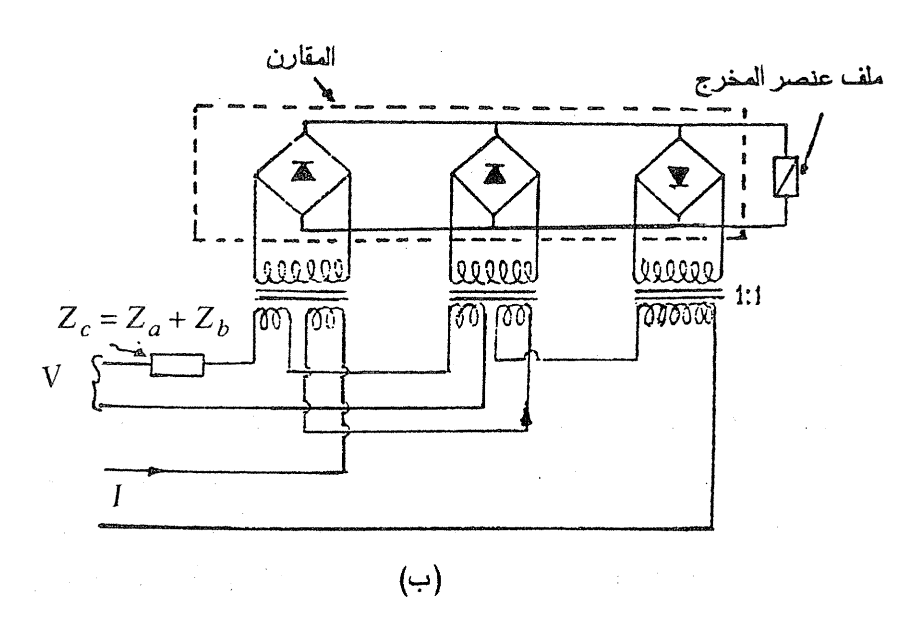
وبعمل بعض التعديلات البسيطة فى كميات المداخل للمقارنات يمكن الحصول على خاصية القطع المكافئ *(Parabola)* ، كما فى شكل *(9-33)*هـ ، وخاصية حلزون بسكال *(limacon)* ، كما فى شكل *(9-33)*و . وعادة تستخدم خاصية القطع الزائد ،والقطع المكافئ والحلزونى كحاجز أو ساتر *(Blinder)* فى متممات الوقاية المسافية .

ويلاحظ فى جميع الحالات السابقة أن متمم الوقاية المسافية عبارة عن قناطر توحيد تعمل كمقارن وتغذى عنصر مخرج والذى يكون عادة من النوع ذى الملف المتحرك *(Moving coil)* .

عملياً وجدت مشاكل فى إستخدام قناطر التوحيد (مقارنات القيمة) نتيجة الجهود المنعكسة *(Reflected voltage)* فى الموحدات وتأثيرها على دوائر المدخل لذلك إستبدلت بمقارنات قيمة عبارة عن ترانزستورات مترابطة ، كما فى شكل *(9-34)* ولها تغذية خلفية سالبة *(Negative feed back)* ، ويغذى مخرج المقارن دائرة عبارة عن مكامل *(Integrator)* وكاشف مستوى *(Level detector)* وعنصر مخرج.

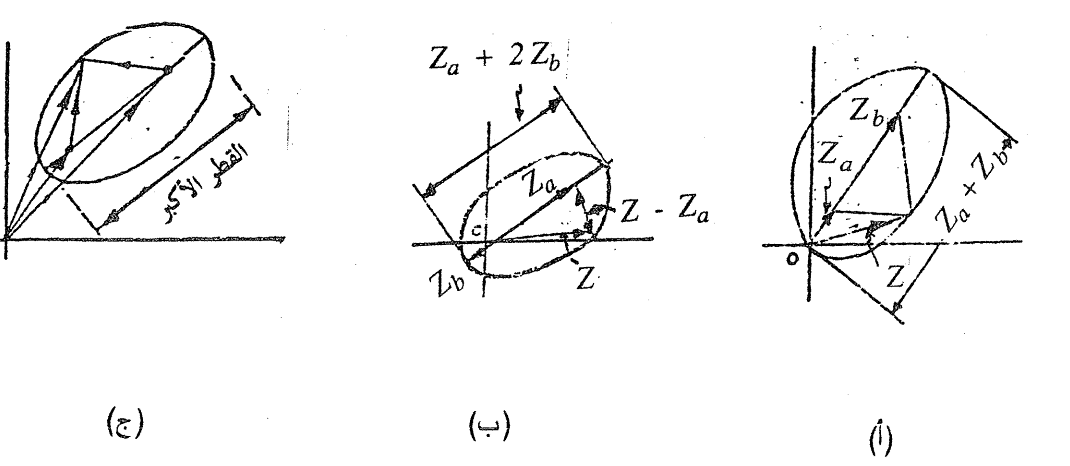
بدأ إستخدام دوائر الترانزستور فى متممات الوقاية المسافية فى حوالى عام *1956* والتى كانت لها خاصية «مو» *(Mho)* ، وفى عام *1957* أنتج نوعين من أنظمة الوقاية المسافية هما :

* طريقة النتوءات *(Block-spike)* كما فى شكل *(9-35)*أ .
* طريقة مقارن الزاوية المباشر *(Direct phase comparison)* كما فى شكل *(9-35)*ب .



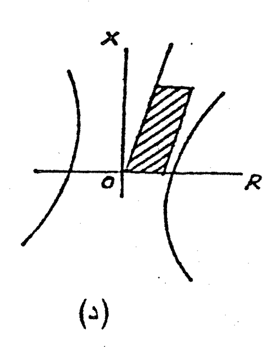
(ب)

تابع شكل (9-32)

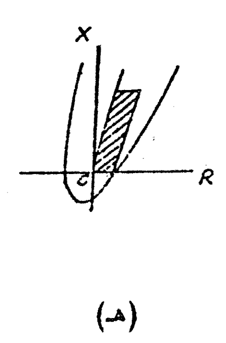


(ج) (ب) (أ)

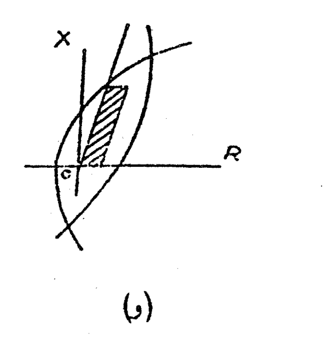
شكل (9-33) خصائص القطع الناقص



(د)

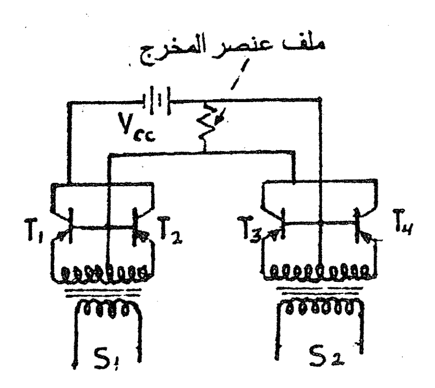


(هـ)



(و)

تابع شكل (9-33)



شكل (9-34) مقارن من الترانزستور

وفى كلا النوعين ، تكون المداخل تبعاً للمعادلتين: $S_1 = K_1 V$

$S_2 = IZ_r - K_2 V$

or

$V_1 = V\angle 90^\circ$

$V_2 = IZ_r - V$

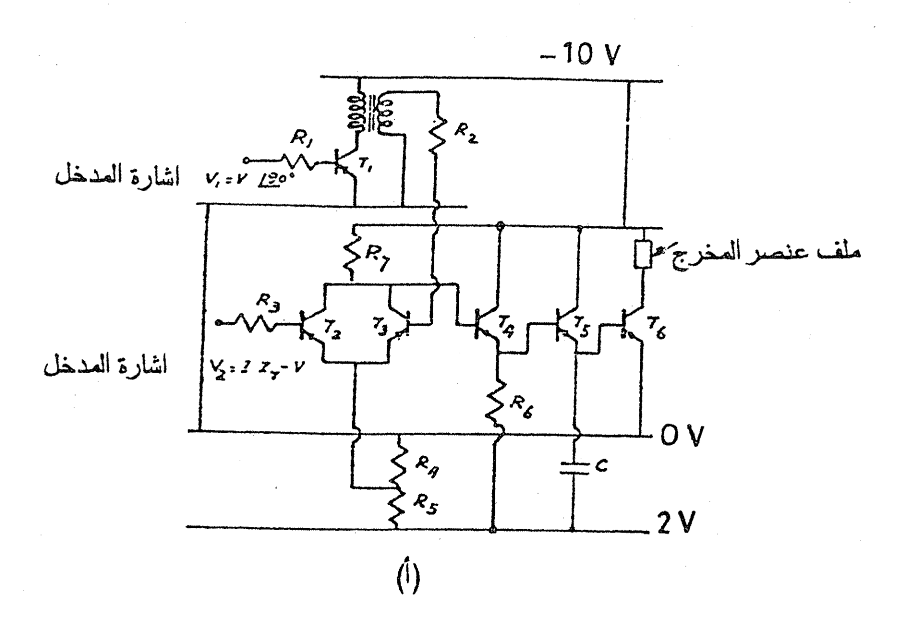
فى شكل (9-35)أ ، عندما تتغير إشارة المدخل V_1 من الموجب إلى السالب ، فإن الترانزستور T_1 يتحول إلى حالة التوصيل *ON* محدثاً نبضة سالبة على ملف المحول، كذلك تحدث نبضة موجبة عندما يتغير V_1 من السالب إلى الموجب . ويحتاج إلى إزاحة زاوية 90° للحصول على نبضة عند أقصى قيمة للجهد . وتمثل T_2 , T_3 دائرة تطابق *(Coincidence)* ، ففى البداية تكون الترانزستورات فى حالة توصيل ، عندما تكون كل من V_2 ونبضة المخرج من المحول موجبة عندئذ نحصل على إشارة مخرج على المقاومة R_7 ، ويشحن مخرج المقاومة R_7 المكثف C من خلال الترانزستورين T_4 , T_5 ، ثم يشتغل ملف عنصر المخرج من خلال الترانزستور T_6 .

نفس الفكرة فى شكل (9-35)ب حيث يتم مقارنة الزاوية من مخرج دائرة التطابق خلال المقاومة P ، بمعنى آخر نحصل على مخرج عندما تكون V_1, V_2 موجبة فى نفس الوقت ، ولا نحصل على مخرج إذا كان أحدهما سالباً . ويغذى مخرج دائرة التطابق دائرة مكامل ، وكاشف مستوى ، ودائرة ثنائى الإستقرار ثم عنصر المخرج .

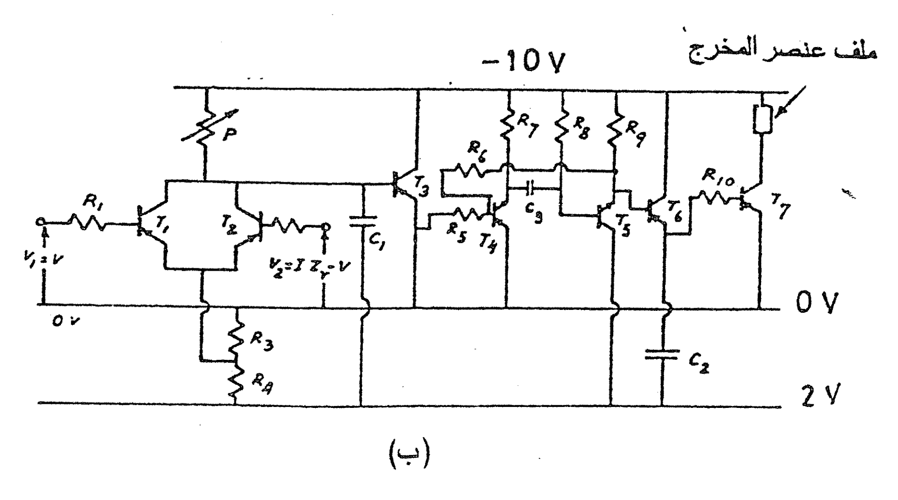
ومن عيوب طريقة النتوءات الآتى :

* عدم الإستقرار *(Instability)* .
* تجاوز المسافات الناتج من الحالات العابرة *(Transient over-reach)* .
* إنخفاض الدقة .

ويمكن تلافى بعض هذه العيوب بإستخدام طريقة مقارن الزاوية المباشر ولكن تظل قيمة تجاوز المسافات الناتجة من الحالات العابرة أكبر من الحدود المسموحة . ويلاحظ أن جهد المخرج من المعاوقة البديلة *(Replica impedance)* غالباً لا يحتوى



(أ)



(ب)

شكل (9-35) دوائر متممات الوقاية المسافية

على مركبة التيار المستمر *(D.C component)* والتى يمكن وجودها فى التيار الابتدائى للدائرة . فمثلاً فى حالة وجود *100%* تيار مستمر عابر ، فإن جهد المخرج على المعاوقة البديلة لا يحتوى على أكثر من *12%* مركبة تيار مستمر وتظهر الحالات العابرة على طرفى الجهد للمتمم والتى تسبب تشغيلاً خاطئاً للمتمم ، وتكون الجهود العابرة فى دائرة الجهد بدلالة الإختلاف بين زاوية معاوقة المصدر وزاوية معاوقة الخط .

وللتغلب على هذه المشكلة يستخدم مقارن مزدوج *(Dual comparator)* أى يستخدم مقارنى تطابق ، أحدهما لكشف التطابق الموجب بين كميات المدخل (وذلك عندما تكون إشارتى المدخلين موجبة فى نفس اللحظة) ، والآخر لكشف التطابق السالب بين كميات المدخل (وذلك عندما تكون إشارتى المدخلين سالبة فى نفس اللحظة) . ويغذى هذان المقارنان ، مقارن ثالث (دائرة تطابق) للحصول على مخرج عندما يكون المقارنين فى حالة تطابق لدورة أكبر من 90° .

وحيث أن لمقارن التطابق حياز سالب فى البداية ، فإن مقارن الزاوية يعمل عندما تتحقق المعادلة الآتية :

$$I Z_r \geq V + V_b$$

or

$$1 \geq \frac{V/I}{Z_r} + \frac{V_b}{I Z_r}$$

or

$$1 \geq \frac{Z_L}{Z_r} + \frac{V_b}{I Z_r}$$

وإذا أمكن الوصول بالقيمة $V_b / (I Z_r)$ إلى الصفر فإن تشغيل المتمم يصبح مثالياً. ونحصل على ذلك بتسليط جهد مساوى وفى عكس الإتجاه لجهد التعويض V_b من جهد نقطة العطل V . ويوضح شكل *(9-36)* دائرة جهد التعويض وتمثيل لفكرة المقارن المزدوج .

إستتبع إنتاج متممات الوقاية الاستاتيكية من نوع الترانزستور إستخدام الدوائر

المنطقية *(Logic circuit)* ، والتى تتمثل فى الدوال *AND, OR, NOT, NAND* ..... وأكثرها شيوعاً دالة *AND* والتى تقوم بعمل دائرة التطابق *(Coincidence)* والموضحة فى شكل *(9-37)* حيث نحصل على إشارة مخرج إذا حدث تطابق لموجتى المدخلين S_1 , S_2 . وقد سهلت الدوال المنطقية الحصول على خصائص بأشكال مختلفة وغريبة لم نحصل عليها من قبل بإستخدام متممات الوقاية المسافية الكهرومغناطيسية أو الاستاتيكية من نوع الترانزستور . كما سيتضح فيما بعد .

خاصية «مو» بإستخدام الدوائر المنطقية

نحصل على خاصية «مو» ببساطة عن طريق دائرة مكونة من دالتى *AND* ودالة *OR* ومؤقت *(Timer)* ، وتعمل دالة *AND* كمقارن زاوية للزاوية بين المدخلين *V,* $(IZ_r - V)$. ويوضح شكل *(9-38)* خاصية «مو» وشرط الزاوية بين المدخلين *V* , $(IZ_r - V)$ فى الحالات الآتية :

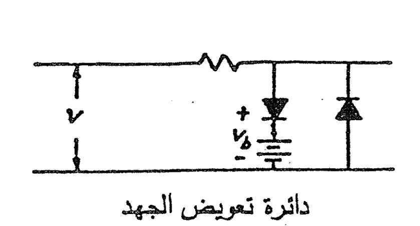
1) حالة الإتزان ، أى يقع المحل الهندسى للمدخل *V* على محيط الدائرة . فتكون الزاوية بين المدخل *V* والمدخل $(IZ_r - V)$ تساوى $90°$

2) حدوث عطل داخلى ، أى يقع المحل الهندسى للمدخل *V* داخل الدائرة . فتكون الزاوية بين المدخل *V* والمدخل $(IZ_r - V)$ أقل من $90°$

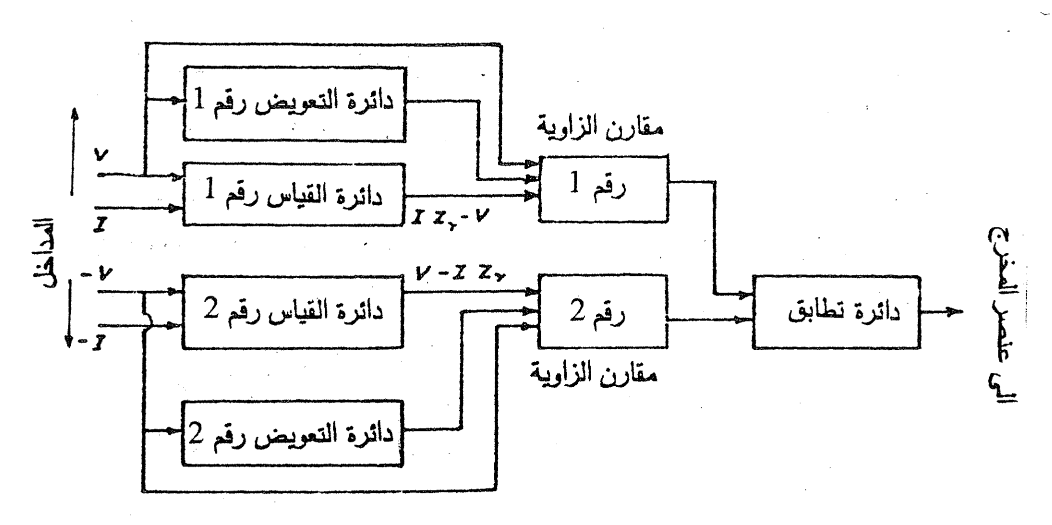
3) حدوث عطل خارجى ، أى يقع المحل الهندسى للمدخل *V* خارج الدائرة . فتكون الزاوية بين المدخل *V* والمدخل $(IZ_r - V)$ أكبر من $90°$

بمعنى آخر إذا تم تمثيل المدخلين $V, (IZ_r - V)$ بالموجتين فى شكل *(9-39)*أ ، والتى بينهما زاوية إختلاف تساوى صفر فإنه يحدث تطابق موجب للموجتين فى نصف الدورة الموجبة ، ويحدث أيضاً تطابق سالب فى نصف الدورة السالبة ، بينما يوضح شكل *(9-39)*ب وجود زاوية إختلاف $90°$ بين الموجتين وفى هذه الحالة يحدث تطابق موجب فى ربع الدورة الموجبة للموجتين ، كما يحدث تطابق سالب فى ربع الدورة السالبة للموجتين . بمعنى أنه لو فرضنا أن الزاوية بين المدخلين هى β ، فإنه لجميع الأعطال الداخلية تكون حدود الزاوية β من صفر إلى $90°$

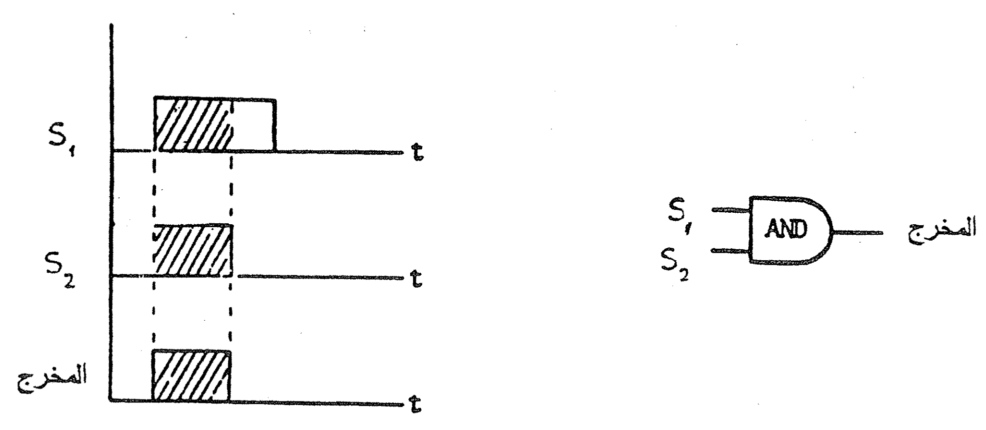
وعندما تكون β تساوى صفر ، أى أن المدخلين يكونان فى إتفاق وجهى *(In-phase)* فإنه يحدث تطابق لمدة *1/2* دورة موجبة وأيضاً *1/2* دورة سالبة .



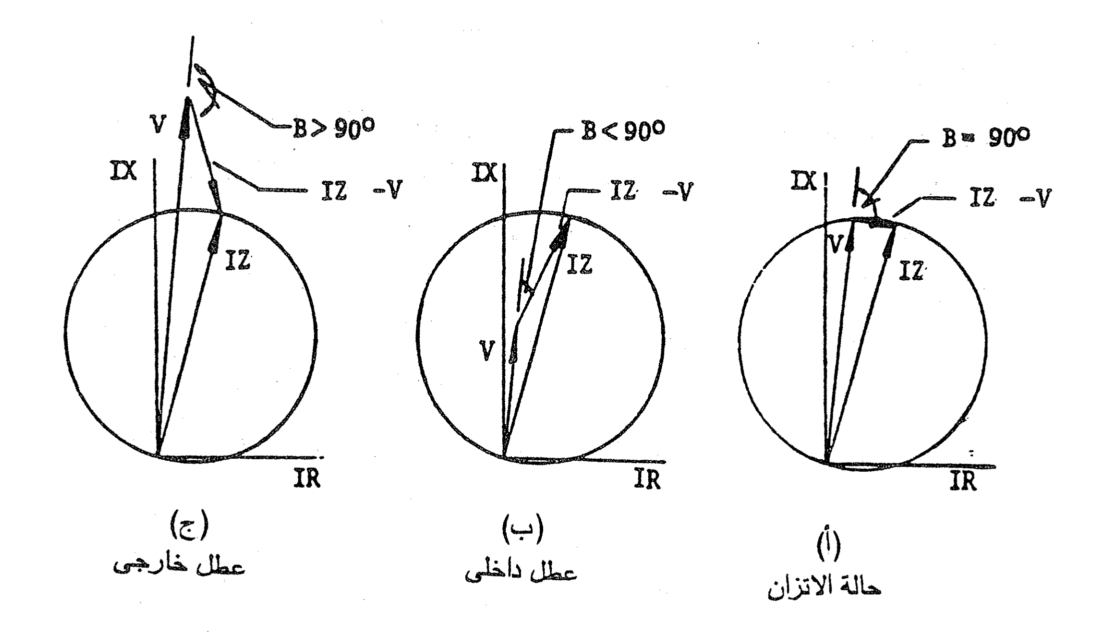
دائرة تعويض الجهد



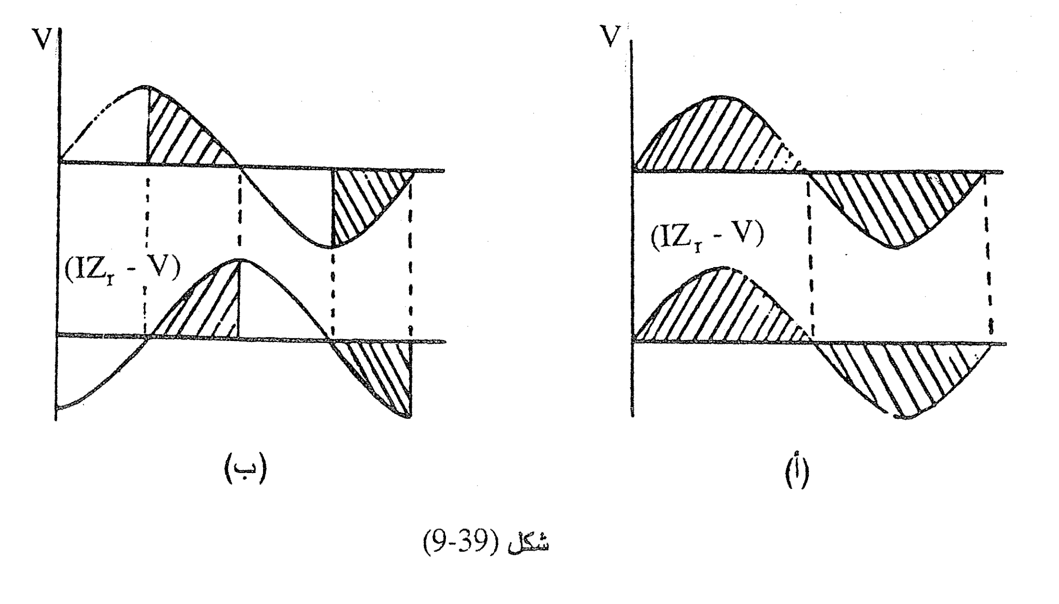
شكل (9-36) دائرة المقارن المزدوج



شكل (9-37) دائرة تطابق



شكل (9-38) خاصية « مو »



شكل (9-39)

وبزيادة الزاوية β تقل فترة التطابق بين موجتى المدخلين . وبالرجوع إلى شكل (9-39)ب فإن β تساوى $90°$ ويكون التطابق يساوى 1/4 دورة وهى حالة الأتزان للمتمم ، فإذا حدث عطل خارجى ، فإن فترة التطابق تكون أقل من 1/4 دورة وإذا حدث عطل داخلى فإن فترة التطابق تكون أكبر من 1/4 دورة ، وبتحويل فترة التطابق 1/4 دورة إلى زمن فإنها تكافئ 5 مللى ثانية (الفترة الزمنية المكافئة للدورة الكاملة 50 هرتز هى 1/50 ثانية أى 20 مللى ثانية) وعلى ذلك إذا حدث تطابق لفترة زمنية أكبر من 5 مللى ثانية فإن هذا يعنى عطل داخلى . وإذا كانت الفترة أقل من 5 مللى ثانية فإن هذا يعنى عطل خارجى .

وعلى ذلك للحصول على خاصية «مو» فإن دالة AND تغذى بمدخلين $(IZ_r\text{-}V_L)$, V_L ، ويغذى مخرج الدالة مؤقت يضبط على زمن 5 مللى ثانية . ونحصل على إشارة مخرج من المؤقت إذا كانت فترة التطابق للمدخلين أكبر من 5 مللى ثانية أى تستمر إشارة المدخل له لفترة زمنية أكبر من 5 مللى ثانية ويوضح شكل (9-40) تمثيلاً للمؤقت وإشارتى المدخل والمخرج له ، ويلاحظ أن إشارة المخرج للمؤقت تنتهى بإنتهاء إشارة المدخل له .

ويضاف ، عادة ، مرشح *(Filter)* ودائرة موجات مربعة *(Square waves circuit)* والتى تكون عبارة عن مكبرات تشغيلية *(Operational amplifiers)* ، وذلك لتحويل المدخلين $(IZ_r\text{-}V_L)$, V_L إلى موجات مربعة ، وذلك قبل مرورها على دالة AND ، ويتم ذلك لكل من الجزئين السالب والموجب للموجات ، كما فى شكل (9-41) .

وبذلك يحتوى المتمم على دالة AND للموجات الموجبة ، ودالة AND للموجات السالبة ويغذى مخرج الدالتين دالة OR ثم المؤقت . ويضبط المؤقت على قيمة 5 مللى ثانية ، أى نحصل على اشارة مخرج من المؤقت اذا كانت فترة التطابق لأى من الموجتين السالبة أو الموجبة أكبر من 5 مللى ثانية ، ويضبط زمن استعادة *(Reset)* المؤقت للتأكد من أن اشارة مخرجه تستمر لأى عطل داخلى .

وتوضح الاشكال (9-41) , (9-42) الحالات الآتية :

* حالة الاتزان :

عندما تكون زاوية الاختلاف بين الموجة المربعة الموجبة V^+ والموجة المربعة الموجبة $(I\ Z_r - V)^+$ تساوى $90°$ ، كما فى شكل (9-42)أ ، تقارن الموجتين بدالة AND وبعد حدوث تطابق لمدة 5 مللى ثانية فإن المؤقت يعطى إشارة مخرج . وفى نفس الوقت فإن الموجة المربعة الموجبة V^+ تصبح صفراً أى ينتهى مدخل المؤقت ، كما يمكن إطالة زمن المؤقت حتى يسمح لدالة AND الأخرى لتجهيز مخرج منها إذا إستمر العطل .

* حالة عطل داخلى :

وتكون زاوية الإختلاف بين الموجة V^+والموجة $(I\ Zr - V)^+$ أقل من $90°$ ، كما فى شكل (9-42)ب ، ويكون التطابق بين الموجتين أكبر من 5 مللى ثانية فيعمل المؤقت ويعطى إشارة مخرج .

* حالة عطل خارجى :

وتكون زاوية الإختلاف بين الموجة V^+والموجة $(I\ Zr - V)^+$ أكبر من $90°$ ، كما فى شكل (9-42)ج ، ويكون التطابق بين الموجتين أقل من 5 مللى ثانية وهى غير كافية لتشغيل المؤقت .

وبذلك تكون وحدة الحصول على خاصية «مو» (Mho unit) عبارة عن دالتى AND ودالة OR ومؤقت .

من الوحدات ذات خاصية «مو» الشهيرة فى الولايات المتحدة الأمريكية وحدة مو 4/5 (4/5 Mho unit) والموضحة فى شكل (9-43)أ ، والتى تتكون من دالتى AND ودالة OR ومؤقت 4/0 ومؤقت آخر P/5 والذى يعرف بمؤقت قيد الإستعادة (Inhibit reset timer) وأحياناً يرمز لهذين المؤقتين بالأرقام 4/5

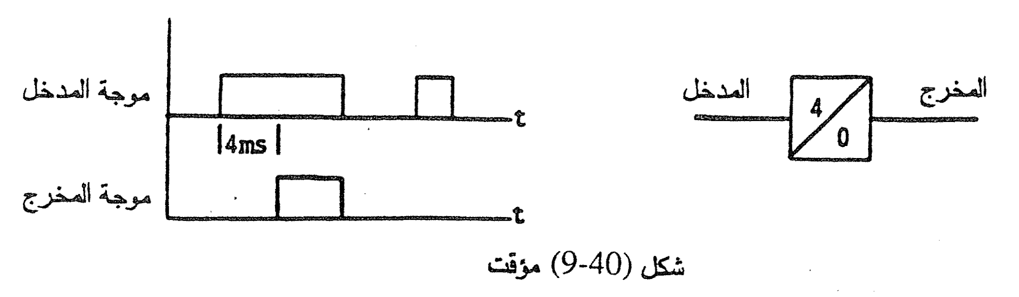
ويوضح شكل (9-43)ب موجات الجهد والتى تجعل المؤقت يعطى مخرجاً مستمراً للأعطال عند حالة الإتزان ، ويقيس المؤقت 4/0 فترة التطابق . ويلقط هذا المؤقت عند4 مللى ثانية . ويكون مخرجه عبارة عن سلسلة من النبضات كل نصف دورة أى فى نهاية فترة التطابق . تغذى هذه النبضات المؤقت P/5 . والذى يعمل مع

بداية أول نبضة ونحصل منه على مخرج فوراً . ويبدأ المؤقت *P/5* فى الإستعادة الى أن يحدث التطابق التالى . عندئذ فإن موجة التطابق تغذى المؤقت *P/5* فى مدخل قيد الإستعادة . ويظل مخرج المؤقت *P/5* طالما أن مدخل قيد الإستعادة موجود . وينتهى بنهاية موجة التطابق ، ويستمر تكرار هذا التتابع حتى إنتهاء العطل ، وإعتماداً على وقت إنتهاء العطل فإن المؤقت يحدث له إستعادة فى فترة *5* مللى ثانية أو أقل . فى شكل *(9-43)*ب حدث للمؤقت إستعادة بعد *1* مللى ثانية من إنتهاء العطل.

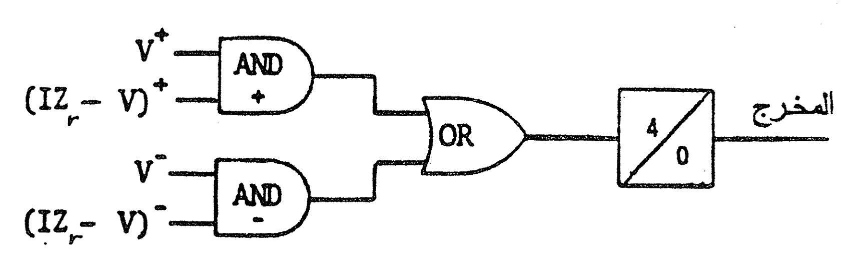
يمكن بعمل تعديل بسيط لقيمة ضبط المؤقت أن نحصل على خاصية شكل العدسة وخاصية شكل الطماطم *(Lens and Tomato characteristics)* ، ويوضح شكل *(9-44)* الخاصيتين . ويعرف الخط *OA* بأنه وتر الخاصية ويعتمد على أقصى قيمة يصل إليها عنصر «مو» . ونحصل على الوتر من القيمة $I Z_r$

عند نقطة الإتزان ، يكون المتجه *V* والمتجه $(I Z_r - V)$ الضلع الثالث للمثلث وإذا كانت الزاوية *C* أكبر من $90°$ نحصل على خاصية على شكل العدسة . وإذا كانت الزاوية *C* أقل من $90°$ نحصل على خاصية قريبة الشبه من الطماطم . ويلاحظ أن الزاوية *C* هى المكملة للزاوية β ، وعلى ذلك فإن الزاوية *C* تشير مباشرة إلى فترة تطابق متجهى الجهد . إذا كان ضبط المؤقت أكبر من *5* مللى ثانية ، فإنه يحتاج إلى فترة تطابق أكبر من نقطة الإتزان أى أن تكون الزاوية بين $V , (I Z_r - V)$ أقل من $90°$. أى تكون الزاوية *C* أكبر من $90°$ ، ونحصل على شكل العدسة . فمثلاً إذا كان زمن ضبط المؤقت *6.666* مللى ثانية نحصل على خاصية العدسة بزاوية $120°$ بينما إذا كان ضبط المؤقت أقل من *5* مللى ثانية ، نحصل على خاصية الطماطم . فمثلاً إذا كان ضبط زمن المؤقت *3.333* مللى ثانية نحصل على خاصية الطماطم بزاوية $60°$

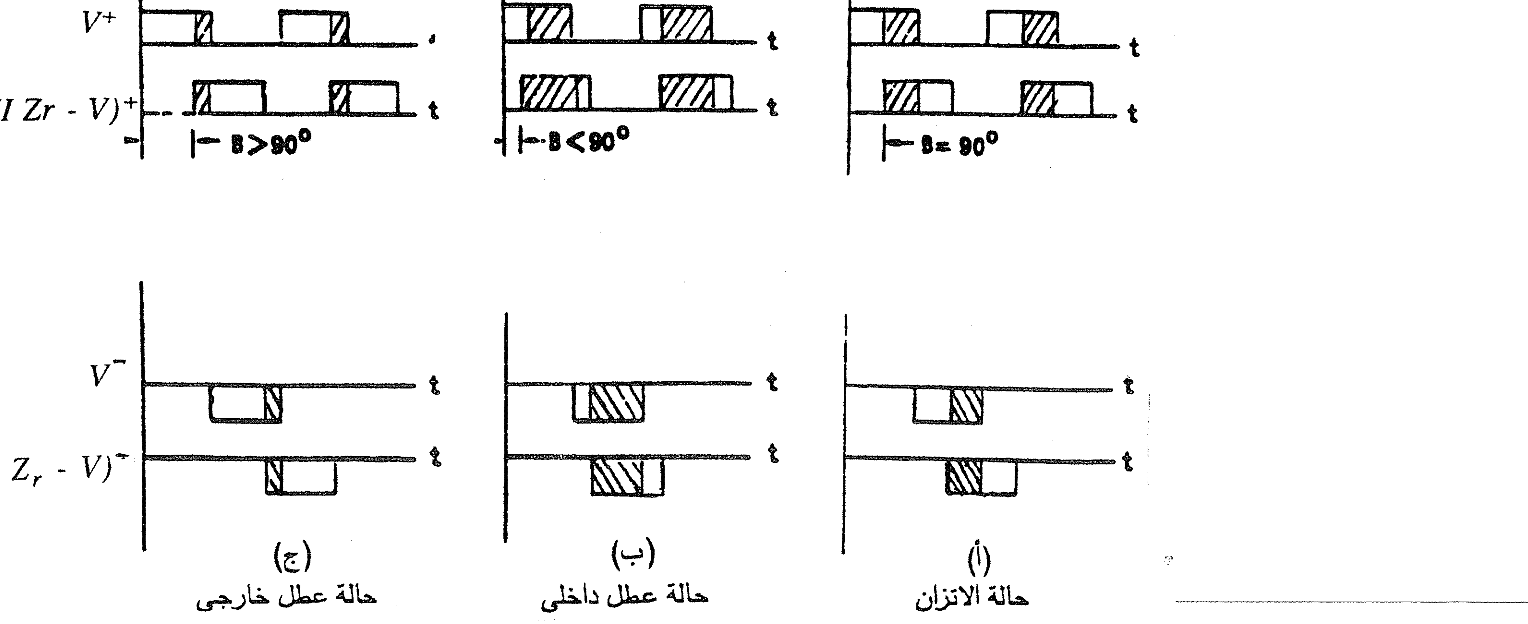
كذلك يمكن الحصول على خاصية موازنة «مو» *(Offset Mho)* بالتحكم فى الزاوية بين المدخلين $(I Z_b + V) , (I Z_r - V)$ ، حيث Z_b معاوقة مصدرالتغذية . فنحصل على خاصية موازنة «مو» إذا كانت الزاوية *D* بين $(I Z_b + V) , (I Z_r - V)$ تساوى $90°$ ، كما فى شكل *(9-45)* .



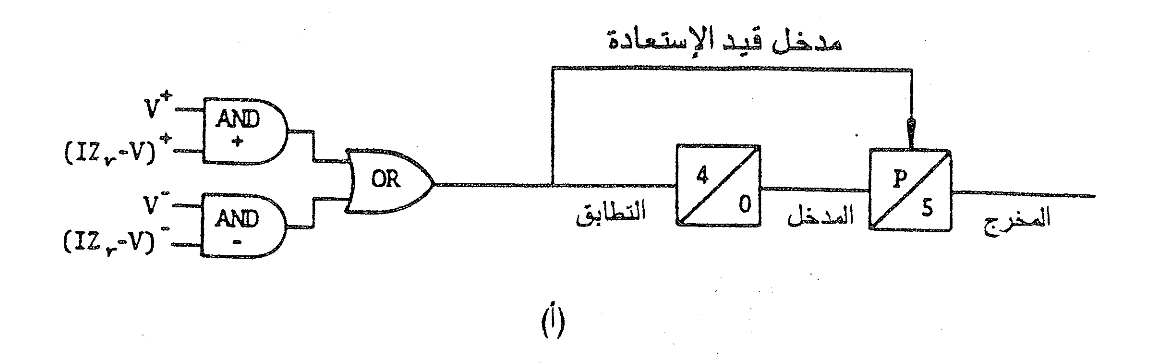
شكل (9-40) مؤقت



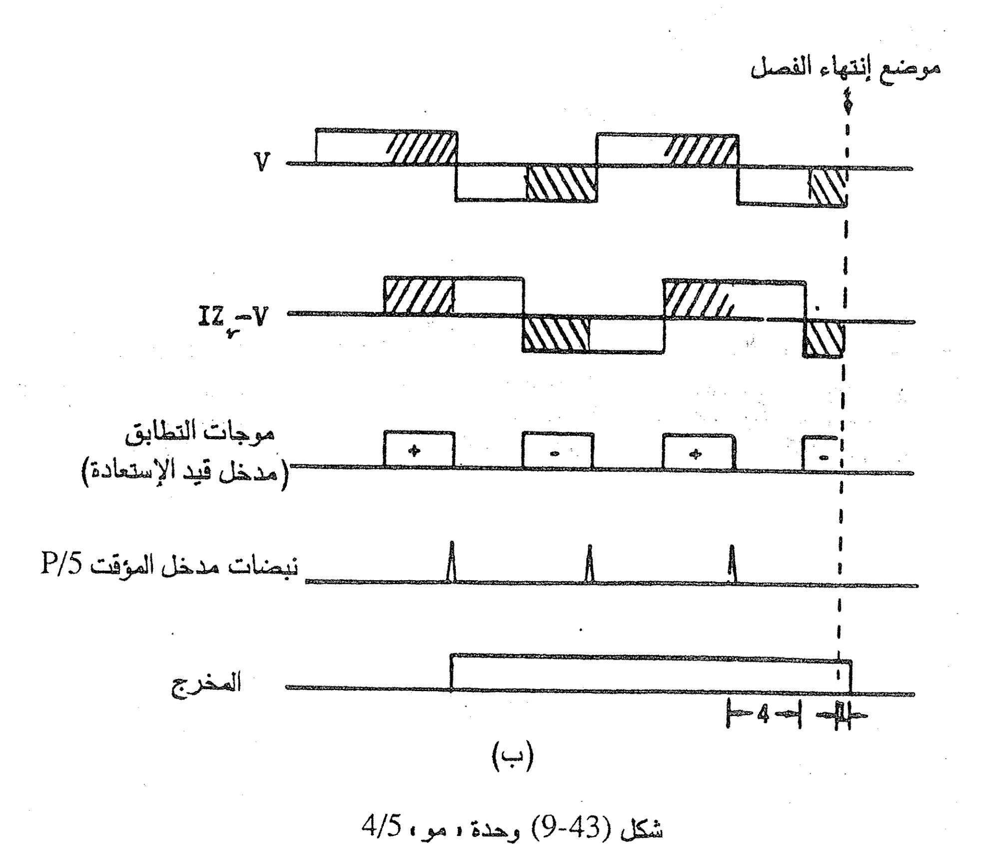
شكل (9-41) دائرة خاصية « مو »



شكل (9-42) الحالات المختلفة لتشغيل الدائرة بشكل (9-41)

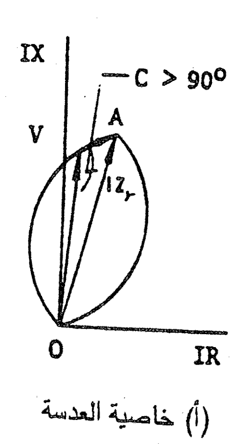


(أ)

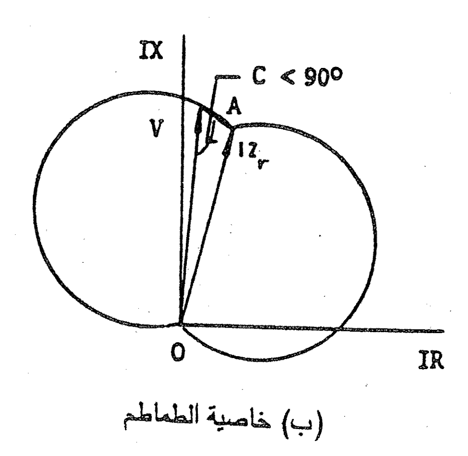


(ب)

شكل (9-43) وحدة ، مو ، 4/5

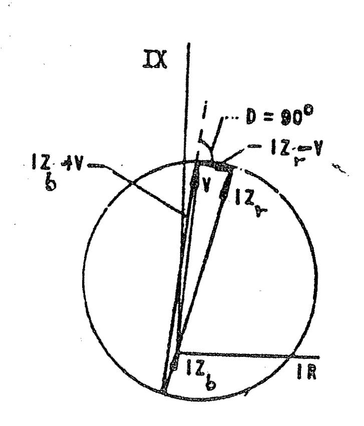


(أ) خاصية العدسة

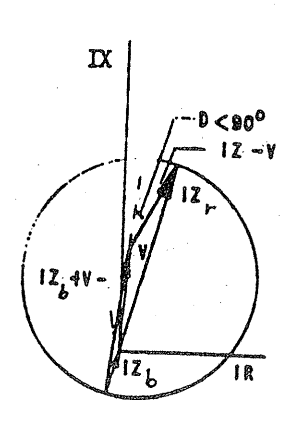


(ب) خاصية الطماطم

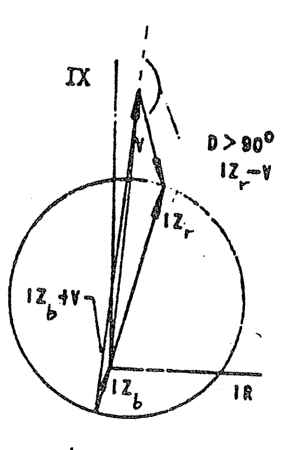
شكل (9-44) خاصيتى العدسة والطماطم

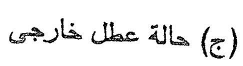


(أ) حالة الاتزان



(ب) حالة عطل داخلى




(ج) حالة عطل خارجى

شكل (9-45) خاصية موازنة « مو »

خصائص خاصة *Special Characteristics*

المقصود بالخصائص الخاصة هى تركيب خاصيتين (أو أكثر) معاً على المحاور الرئيسية $R\text{-}X$ ، والحصول على شكل أوخاصية غير تقليدية ، ويتم ذلك بإستخدام أكثر من مقارن ومقارنة المخارج فى دوال AND , OR

وفيما يلى توضيح بعض الخصائص الخاصة .

أولاً : بإستخدام مقارن الزاوية :

أ) المتمم الاتجاهى المقيد *Restricted Directional Relay*

سبق أن ذكرنا أن خاصية المتمم الاتجاهى عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الأصل للمحاور R, X وله ميل ثابت ، ولكن المقصود بالإتجاه المقيد هو تقاطع خطين بميلين مختلفين يمرا بنقطة الأصل للمحاور R, X ، ففى شكل *(9-46)*أ يمثل الخطين $1, 2$ خاصية الإتجاه المقيد وتمثل المساحة يمين الخاصية منطقة الفصل *(Trip)* بينما المساحة يسار الخاصية تكون منطقة المنع *(Block)* . وللحصول على هذه الخاصية يستخدم مقارنى الزاوية $90°$ *(90° Phase comparator)* مداخلهم :

$$S_1 = KV$$
$$S_2 = IZ_{r1} \underline{/\theta_1 - \phi}$$

مدخلا المقارن رقم (1)

$$S_3 = KV$$
$$S_4 = IZ_{r2} \underline{/\theta_2 - \phi}$$

مدخلا المقارن رقم (2)

ويكون مخرجا المقارنين عبارة عن خطين ، كما فى شكل *(9-46)*ب ، ويقارن المخرجين بدالة AND فنحصل على الخاصية الموضحة بشكل *(9-46)*أ .

ويمكن الحصول على نفس الخاصية بإستخدام مقارن الزاوية غير المتماثل *(Asymmetric phase comparator)* والذى يقارن الزاويتين $-\beta_1 , +\beta_2$ وتكون معادلتا المدخل :

$$S_1 = KV$$
$$S_2 = IZ_r \underline{/\theta - \phi}$$

وموضح بشكل $(9\text{-}46)$ج هذه الخاصية .

ب) متمم الممانعة المقيد *Restricted Reactance Relay*

بإستخدام مقارنى الزاوية $90°$ ، والموضح بشكل $(9\text{-}46)$ب ، تكون المداخل كالآتى:

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= -K_1\underline{/\alpha_1}\ V + IZ_{r1}\underline{/\theta_1 - \phi} \\ S_2 &= IZ_{r1}\underline{/\theta_1 - \phi} \end{aligned}\right\}\ (1)$$ مدخلا المقارن رقم

$$\left.\begin{aligned} S_3 &= -K_2\underline{/\alpha_2}\ V + IZ_{r2}\underline{/\theta_2 - \phi} \\ S_4 &= IZ_{r2}\underline{/\theta_2 - \phi} \end{aligned}\right\}\ (2)$$ مدخلا المقارن رقم

وبإستخدام مقارن الزاوية غير المتماثل ، والموضح بشكل $(9\text{-}46)$ج ، تكون المداخل كالآتى :

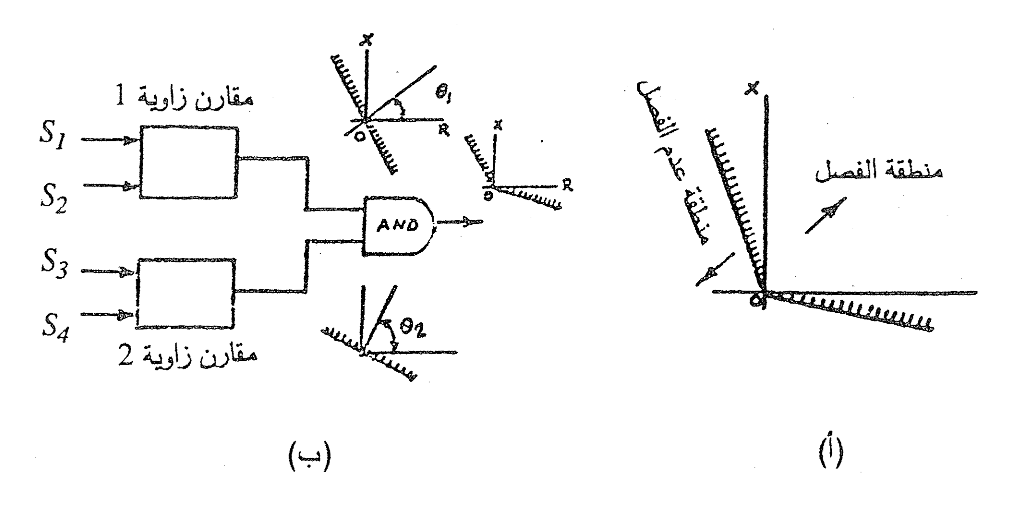
$$S_1 = -K_1\underline{/\alpha_1}\ V + IZ_{r1}\underline{/\theta_1 - \phi}$$

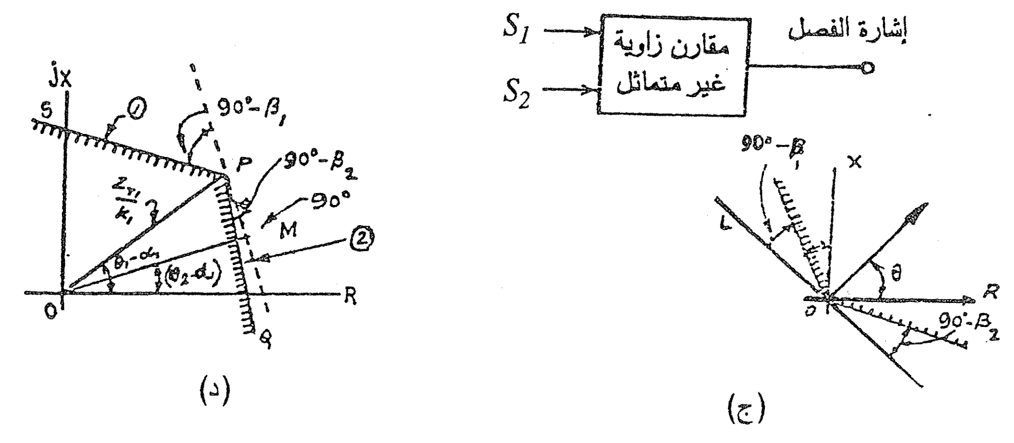
$$S_2 = IZ_{r2}\underline{/\theta_2 - \phi}$$

بأى من الطريقتين نحصل على خاصية الممانعة المقيدة كما فى شكل $(9\text{-}46)$د . حيث يرسم الخط OP والذى يساوى $(Z_{r1}/K_1)\underline{/\theta_1 - \alpha_1}$ ، ويرسم الخط OM بزاوية $(\theta_2 - \alpha_1)$ ، ويرسم خط يمر بالنقطة P ويتعامد عليه الخط OM ، ثم يرسم الخطين PS , PQ بالزاويتين $(90 - \beta_2)$, $(90 - \beta_1)$ بالنسبة للخط PM . وبذلك يعرف الخطين PS , PQ بخاصية الممانعة المقيدة وتكون المنطقة المحددة بالخطين والمحورين X, R هى منطقة الفصل $(Trip)$ للمتمم .

ج) متمم ذو خاصية «مو» الحاجب *Mho Blinder Relay*

فى هذا النوع نحصل على خاصية «مو» محددة بخطين لهما خاصية أوم (Ohm) ، كما فى شكل $(9\text{-}47)$ ، وتكون المنطقة المحددة هى منطقة الفصل $(Trip)$ للمتمم ويمكن الحصول على هذا الشكل بإستخدام ثلاثة مقارنات الزاوية $90°$ أحدهما نحصل منه على خاصية «مو» ، والثانى نحصل منه على خاصية الخط المائل رقم 1، والأخير نحصل منه على خاصية الخط المائل رقم 2 ، وبمرور مخارج المقارنات الثلاثة على





شكل (9-46) المتمم الاتجاهى المقيد

دالة AND نحصل على الخاصية المطلوبة ، وتكون المداخل للمقارنات كالآتى :

$$S_1 = IZ_{r1} \angle \theta_1 - \phi - K_1 \angle \alpha_1 \; V$$
$$S_2 = K_1 \angle \alpha_1 \; V$$
مدخلا المقارن رقم (1)

$$S_3 = K_2 \angle \alpha_2 \; V$$
$$S_4 = IZ_{r2} \angle \theta_2 - \phi$$
مدخلا المقارن رقم (2)

$$S_5 = IZ_{r3} \angle \theta_3 - \phi - K_3 \angle \alpha_3 \; V$$
$$S_6 = IZ_{r3} \angle \theta_3 - \phi$$
مدخلا المقارن رقم (3)

كذلك يمكن الحصول على خاصية متمم «مو» ـ ممانعة *(Mho-reactance relay)* أى خط أفقى يوازى المحور R وعلى بعد X معينة منه يحدد الجزء المراد من دائرة «مو» ليكون منطقة الفصل للمتمم ، كما فى شكل *(9-48)* ويكون المتمم عبارة عن مقارن نحصل منه على خاصية «مو» ، وآخر نحصل منه على خاصية الممانعة ثم يقارنا فى دالة AND وتكون المداخل للمتمم كالآتى :

$$S_1 = K_1 \angle \alpha_1 \; V$$
$$S_2 = -K_2 \angle \alpha_2 \; V - IZ_{r2} \angle \theta_2 - \phi$$
مدخلا المقارن رقم (1)

$$S_3 = IZ_{r3} \angle \theta_3 - \phi$$
$$S_4 = S_2$$
مدخلا المقارن رقم (2)

يمكن الحصول على هاتين الخاصيتين بطريقة أكثر سهولة عن طريق إستخدام مقارن الزاوية متعدد المداخل *(Multi-input phase comparator)* ، والذى يمتاز بأنه لا يعطى إشتغال خاطئ *(Maloperation)* للمتمم . ونحصل على مخرج من هذا المقارن إذا تحققت جميع الشروط فى نفس اللحظة .

وكما ذكرنا من قبل ، لمقارن الزاوية $90°$ ذات عدد مداخل تساوى n نحصل منه على خصائص بعدد $n(n-1)/2$ ، وتكون منطقة الفصل الناتجة عبارة عن المساحة المشتركة لهذه الخصائص ، فمثلاً يمكن الحصول على أى من الخاصيتين السابقتين بإستخدام مقارن الزاوية $90°$ ذات ثلاثة مداخل ، كما فى شكل *(9-49)* ، وهى :

$S_1 = K_1 \angle \alpha_1 \; V$

$S_2 = -K_2 \angle \alpha_2 \; V + I Z_{r2} \angle \theta_2 - \phi$

$S_3 = I Z_{r3} \angle \theta_3 - \phi$

وبالإختيار المناسب للقيم α_1 , α_2 , θ_2 , θ_3 يمكن الحصول على الخصائص المطلوبة .

حيث : θ_2 : زاوية المعاوقة البديلة Zr_2 .

θ_3 : زاوية المعاوقة البديلة Zr_3 .

α_1 , α_2 : زوايا الإزاحة للجهد V تبعاً للخاصية المطلوبة .

ϕ : الزاوية بين I , V .

ووضح شكل $(9\text{-}50)$ كيفية الحصول على خاصية متمم «مو» ممانعة وأيضاً خاصية متمم «مو» المعماه كما فى شكل $(9\text{-}51)$.

د) متمم ذو خاصية على شكل الرقم 8 *(Figure 8, distance relay)*

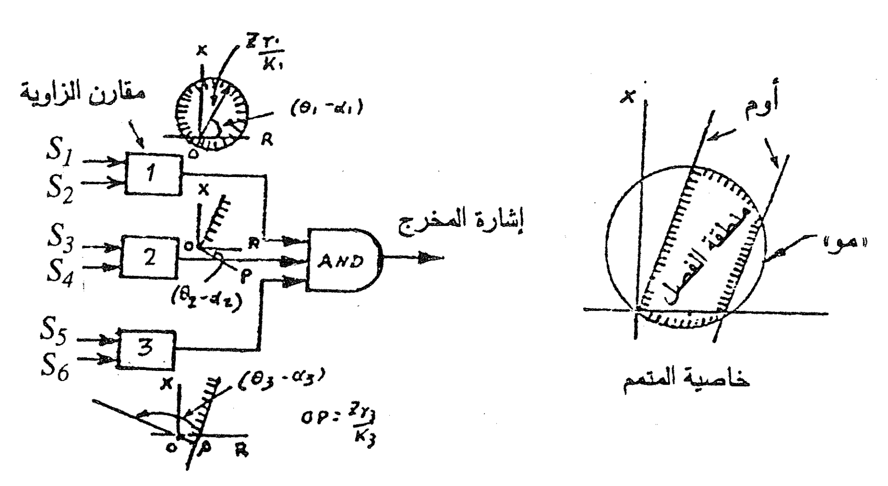
بإستخدام مقارنى الزاوية $90°$ ، أحدهما له خاصية «مو» والآخر له خاصية موازنة «مو» ثم إمرارهم على دالة OR نحصل على خاصية على شكل رقم 8 ، كما فى شكل $(9\text{-}52)$ ، وتكون معادلات المداخل كالآتى :

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= I Z_{r1} \angle \theta_1 - \phi \; - K_1 \angle \alpha_1 \; V \\ S_2 &= K_1 \angle \alpha_2 \; V \end{aligned}\right\} \; (1) \text{ مدخلا المقارن رقم}$$

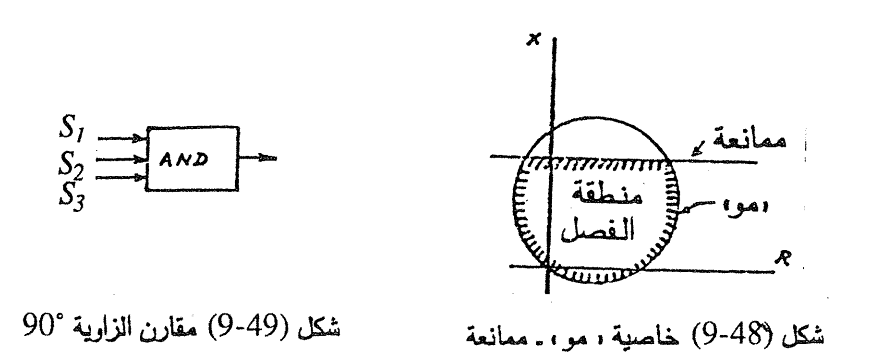
$$\left.\begin{aligned} S_3 &= I Z_{r2} \angle \theta_2 - \phi \; - K_1 \angle \alpha_1 \; V \\ S_4 &= K_1 \angle \alpha_1 \; V - I Z_{r3} \angle \theta_1 - \phi \end{aligned}\right\} \; (2) \text{ مدخلا المقارن رقم}$$

هـ) متمم ذو خاصية رباعى الأضلاع *Quadrilateral Relay*

توجد طرق مختلفة للحصول على خاصية رباعى الأضلاع ، سنذكر بعضها فى هذا الجزء ،وتكون خاصية رباعى الأضلاع عبارة عن أربعة خطوط ، إثنين منها عبارة عن خاصية إتجاهية والآخرين عبارة عن خاصية ممانعة مقيدة ، كما فى شكل $(9\text{-}53)$أ ، ونحصل على هذه الخاصية عن طريق أربعة مقارنات الزاوية $90°$ ودالة (AND) ، أو عن طريق مقارنى زاوية غير متماثل ، كما فى شكل $(9\text{-}53)$ب ،



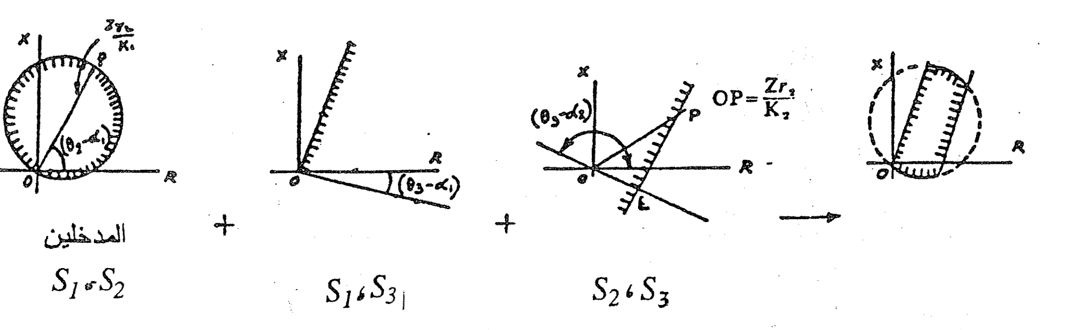
شكل (9-47) متمم ذو خاصية «مو» - الحاجب



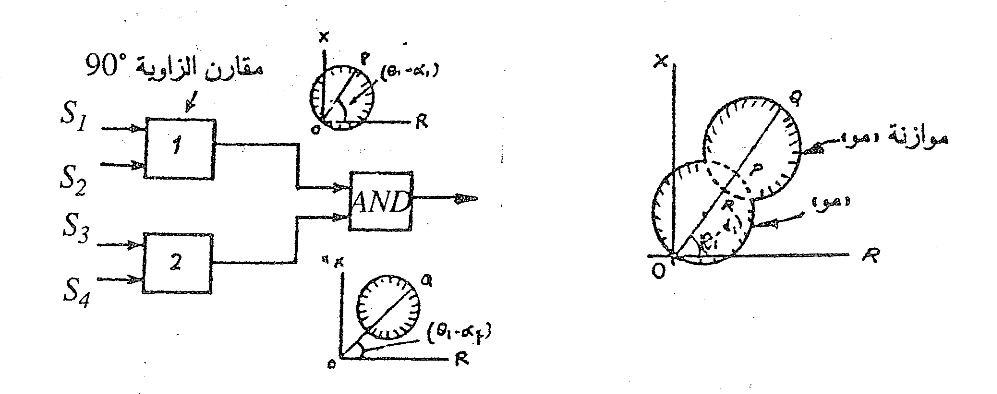
شكل (9-48) خاصية «مو» - ممانعة

شكل (9-49) مقارن الزاوية 90°

شكل (9-50) مراحل الحصول على خاصية شكل (9-48)



شكل (51-9) مراحل الحصول على الخاصية بشكل (47-9)



شكل (52-9) متمم ذو خاصية على شكل الرقم 8

وتكون معادلتى المقارن الأول كالآتى :

$$S_1 = K_1 \angle \alpha_1 \; V$$

$$S_2 = I Z_{r1} \angle \theta_1 - \phi$$

ونحصل منها على الخاصية الاتجاهية ، نرسم الخط OP بزاوية $(\theta_1 - \alpha_1)$ من المحور R ، ثم نرسم OL متعامداً على OP ، ونرسم الخط OA بزاوية $(90 - \beta_1)$ من خط OL والخط $O\beta$ بزاوية $(90 - \beta_2)$ من إمتداد الخط OL حيث β_1, β_2-حدود زاوية هذا المقارن . أما المقارن الآخر فنحصل منه على خاصية الممانعة المقيدة وتكون معادلتى المدخل هما :

$$S_3 = -K_2 \angle \alpha_2 \; V + Z_{r1} \; I \angle \theta_2 - \phi$$

$$S_4 = Z_{r2} \; I \angle \theta_3 - \phi$$

ويمكن رسم حدود خاصية الممانعة المقيدة كما ذكرنا سلفاً .

كذلك يمكن الحصول على خاصية رباعى الأضلاع بإستخدام مقارن الزاوية $90°$ بأربعة مداخل هم :

$$S_1 = I Z_r \angle \theta_1 - \phi - K_1 \angle \alpha_1 \; V$$

$$S_2 = I Z_{r2} \angle \theta_2 - \phi$$

$$S_3 = I Z_{r3} \angle \theta_3 - \phi$$

$$S_4 = K_4 \angle \alpha_4 \; V$$

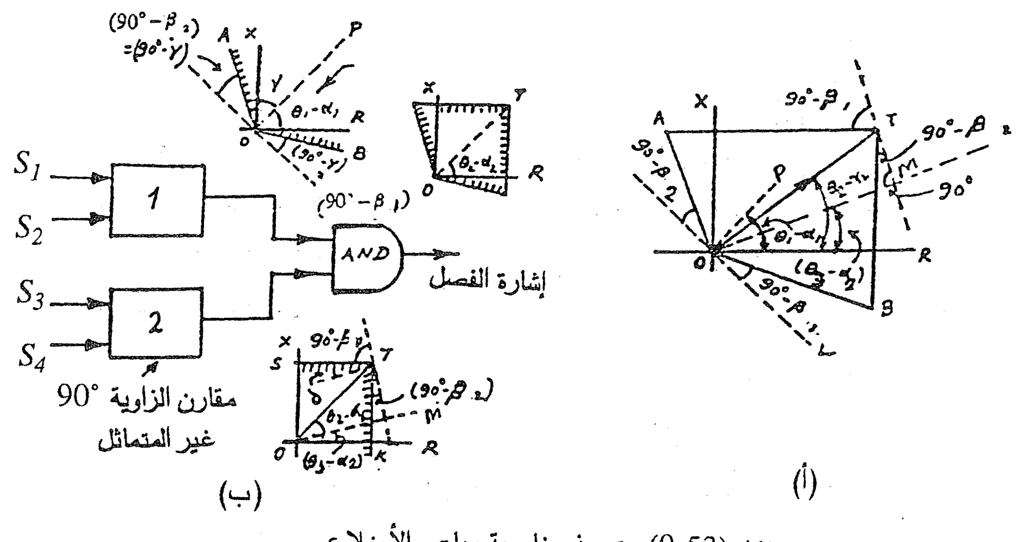
بفرض أن :

$$Z_{r1} = R_r + jX_r$$

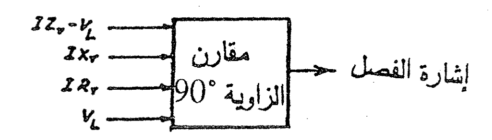
$$Z_{r2} = X_r$$

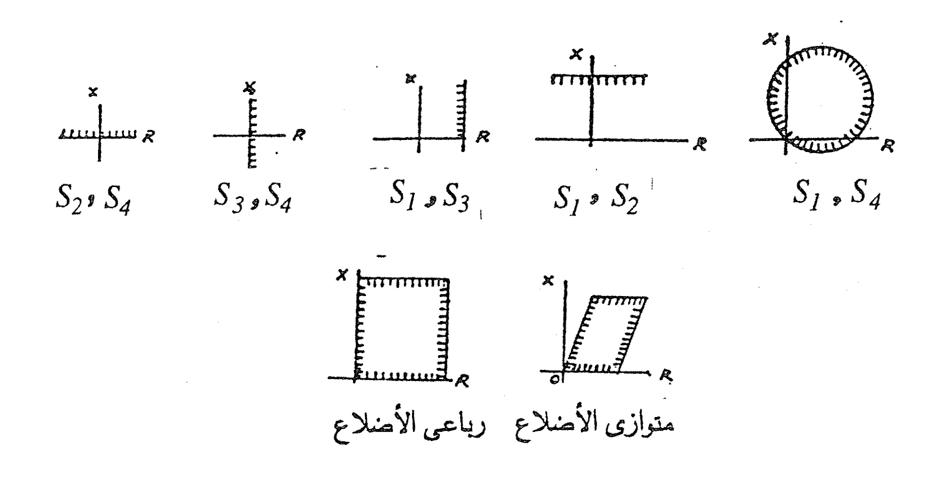
$$Z_{r3} = R_r$$

ويوضح شكل $(9\text{-}54)$ المقارن والخصائص التى نحصل عليها من المقارن . كما يتلاحظ إحتواء هذه الخصائص على خاصية «مو» نتيجة المدخلين S_1 , S_4 والتى لا نحتاج لها فى خاصية رباعى الأضلاع . وللتخلص من خاصية «مو» يتم تغيير مداخل المقارن بحيث تصبح :



شكل (53-9) متمم ذو خاصية رباعى الأضلاع





شكل (54-9) مقارن الزاوية 90°

$$S_1 = IZ_r \ (pulse)$$

$$S_2 = V$$

$$S_3 = V \angle -90^\circ$$

$$S_4 = IR - V$$

ويجب أن يكون المدخل S_1 على شكل نبضة *(Pulse)* ، ويصبح المخرج عى شكل متوازى الأضلاع *(Parallelogram)* ، كما فى شكل *(9-55)* ، ونحصل على إشارة مخرج إذا حدثت النبضة خلال دورة التطابق للمداخل S_2 , S_3 , S_4 . وهذا يحدث فقط عند حدوث عطل داخلى ، ويفضل إستخدام مقارنين ، مثل المقارن فى شكل *(9-55)* ، وذلك للحصول على إشارة مخرج فى كل من نصفى الدورة للموجات S_2 , S_3 , S_4 .

ويمكن الحصول على خاصية رباعى الأضلاع ببساطة بإستخدام كاشفى تتابع الأوجه *(Phase sequence detector)* ثم مقارنة مخرجهما بدالة *AND* ، كما فى شكل *(9-56)* ، أما كاشف تتابع الأوجه فهو عبارة عن مقارن زاوية بثلاثة مداخل والتى تكشف تعاقب التقاطع الصفرى *(Zero crossing)* لموجات المدخل ، وللحصول على خاصية رباعى الأضلاع تكون مداخل الكاشف الأول عبارة عن :

$$S_1 = IZ_{r1} \qquad S_2 = IZ_{r2} \qquad S_3 = V$$

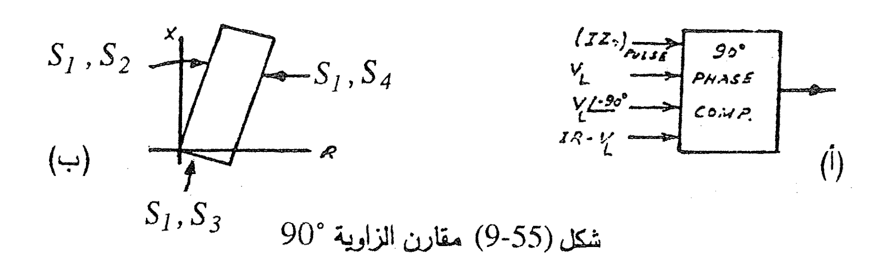
وعندما يكون التتابع *123* فإن الجهد *V* يقع خارج حدود المنطقة الناتجة من المدخلين S_1 , S_2 ، بمعنى آخر إذا كان التتابع *132* فإن الجهد *V* يقع فى حدود المنطقة الناتجة من المدخلين S_1 , S_2 ، وعلى ذلك تكون منطقة التشغيل لهذا الكاشف عندما يتغير التتابع من *123* إلى *132* عبارة عن حدود خطين ، كما فى شكل *(9-56)* أ ، وتكون مداخل الكاشف الثانى عبارة عن :

$$S_1^1 = (Z_{r1} - Z_{r2})I$$

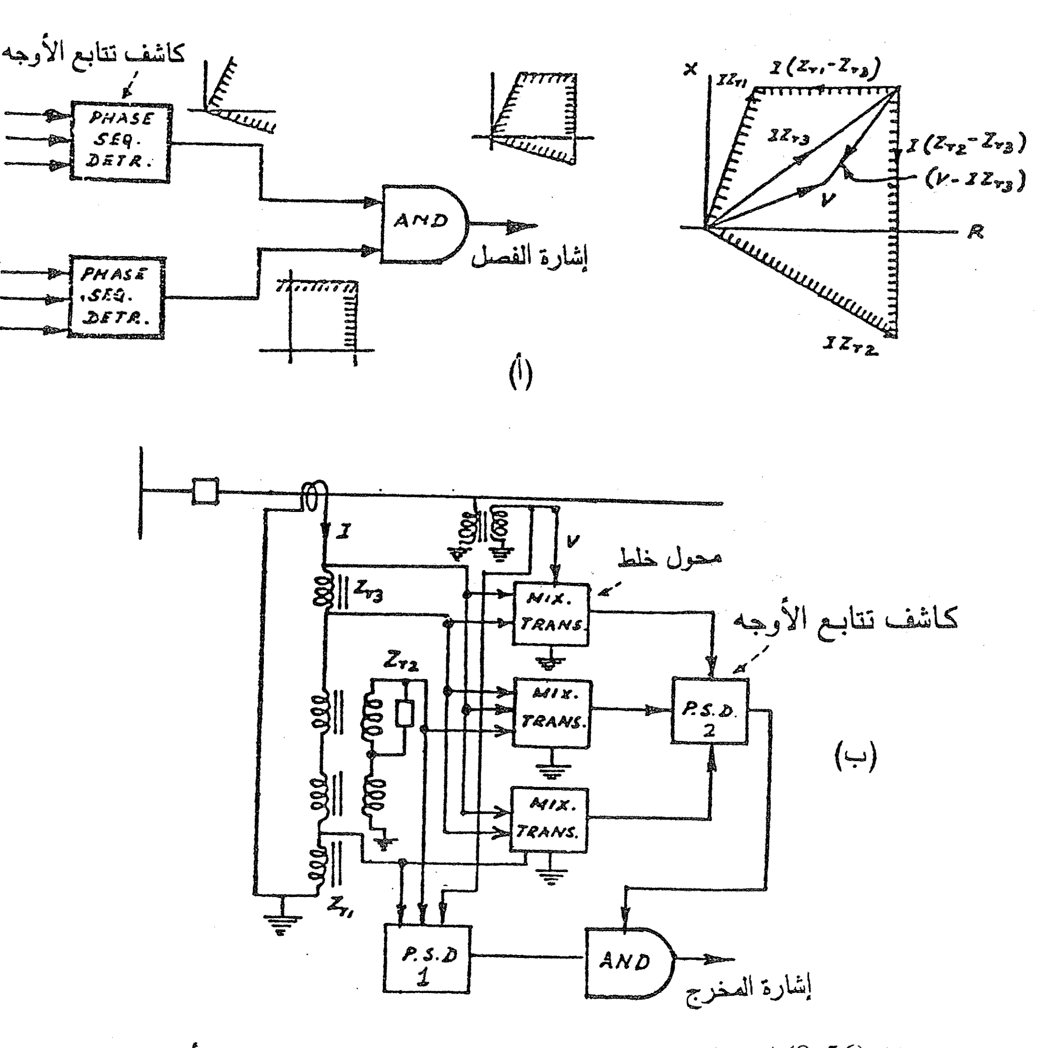
$$S_2^1 = (Z_{r2} - Z_{r3})I$$

$$S_3^1 = V - IZ_{r3}$$

ونحصل منه على الخطين الآخرين المحددين لرباعى الأضلاع ، وبالتالى بمرور المخرجين للكاشفين على دالة *AND* نحصل على منطقة تشغيل عبارة عن شكل رباعى الأضلاع . ويوضح شكل *(9-56)* ب المكونات الأساسية لمتمم الوقاية المسافية



شكل (9-55) مقارن الزاوية 90°



شكل (9-56) إستخدام كاشفى تتابع الزاوية للحصول على خاصية رباعى الأضلاع

ذات خاصية رباعى الأضلاع .

وقد أمكن إستنتاج طريقة أخرى للحصول على خاصية رباعى الأضلاع عن طريق مقارنة وضع المحل الهندسى لنقطة داخل رباعى الأضلاع وخارجه ، كما فى الشكل *(9-57)* ، وبفرض أن الخط *OP* يعرف بالمتجه *Z* ، وأن الأضلاع *OA , OB* , *OC* تعرف بالمتجهات Z_a , Z_b , Z_c على التوالى ، فإن مداخل المتمم تكون :

$$S_1 = Z_a - Z \quad or \quad I Z_a - V$$

$$S_2 = Z_b - Z \quad or \quad I Z_b - V$$

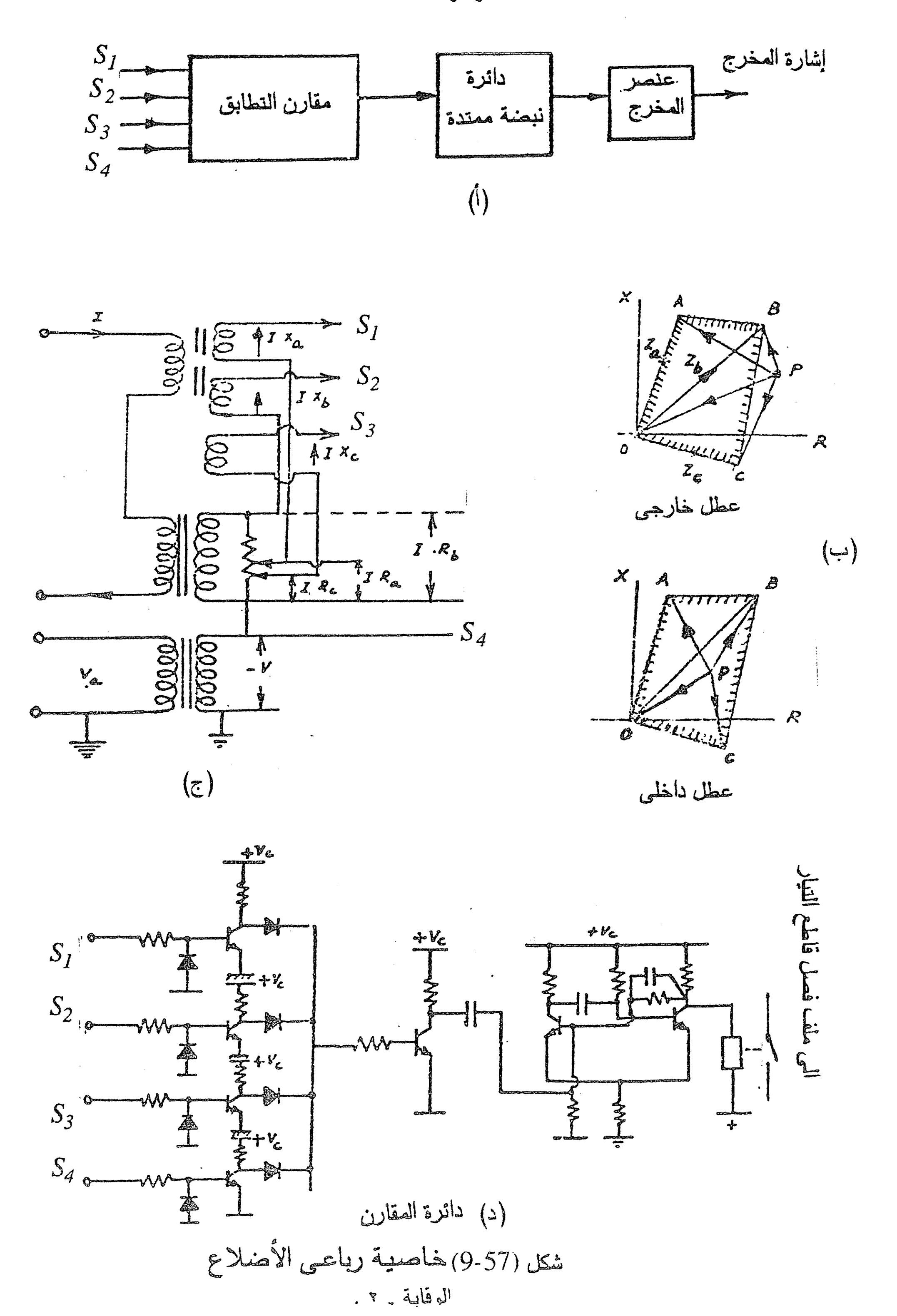
$$S_3 = Z_c - Z \quad or \quad I Z_c - V$$

$$S_4 = \quad - Z \quad or \quad - V$$

ويلاحظ فى شكل *(9-57)*ب أنه عندما تقع النقطة *P* خارج الشكل فإن المداخل S_1 S_2 , S_3 , S_4, تقع فى فتحة زاوية من صفر إلى $180°$. بينما عندما تقع النقطة *P* داخل الشكل فإن المداخل لا تقع فى حدود فتحة الزاوية من صفر إلى $180°$ ، أى لا تكون المداخل فى حالة تطابق *(Non-coincedence)* . وإستخدمت هذه الفكرة للحصول على خاصية رباعى الأضلاع فى متممات الوقاية المسافية ، ويوضح شكل *(9-57)*أ تمثيل مكونات المتمم حيث تغذى المداخل S_1 , S_2 , S_3 , S_4 مقارن تطابق بوابة *(Nand gate coincidence comparator) (NAND)* . ونحصل منه على نبضات دورية كل *20* مللى ثانية (عند التردد *50* هرتز) إذا كانت *P* تقع خارج الشكل الرباعى . هذه النبضات تغذى دائرة تطويل النبضة *(Pulse stretcher)* (وهى عبارة عن دائرة أحادى الإستقرار *Monostable*) ونحصل منها على إشارة مخرج مستمرة لتشغيل ملف عنصر المخرج . أى أن حالة التشغيل لعنصر المخرج تعنى أن النقطة*P* تقع فى منطقة عدم الفصل . وتكون حالة الفصل عندما تقع *P* داخل منطقة التشغيل ، أى عندما لا نحصل على إشارة مخرج من دائرة تطويل النبضة ، ويكون الوضع الطبيعى لنقط تلامس عنصر المخرج فى وضع توصيل وذلك لتوصيل إشارة الفصل لقاطع التيار .

ويوضح شكلى *(9-57)* ج،د مكونات دائرة عناصر المدخل ودائرة المقارن للمتمم .

ومن الطرق الحديثة للحصول على خاصية لشكل قريب الشبه من رباعى



شكل (57-9) خاصية رباعى الأضلاع

الأضلاع طريقة مقارن الزاوية العام متعدد المداخل *(Multi-input generalised phase comparator)* والذى نحصل منه على الشكل القطبى *(Polar)* الموضح بشكل *(9-58)* . وتكون مدخلات المقارن كالآتى :

$$S_1 = IZ_r$$

$$S_2 = IZ_r - V$$

$$S_3 = V$$

ونحصل من المقارنة بين الإشارتين S_1 , S_2 على الحدود BCD . وإذا كانت معاوقة العطل على طول الخط BC فإن الإشارة S_2 تتأخر عن الإشارة S_1 بزاوية ثابتة تساوى $63°$. بينما إذا كانت على طول الخط CD فإن S_2 تتقدم S_1 بزاوية $20°$ وعلى ذلك تكون الحدود BCD تبعاً للعلاقة :

$$-63° \leq \angle S_2 / S_1 \leq 20°$$

ويتم تحديد إتجاه الخاصية عن طريق الإشارتين S_1 , S_3 . للخط OA تكون الإشارة S_3 متقدمة على الإشارة S_1 وبالمثل لإمتداد الخط OE فإن S_3 تتأخر عن S_1 ، وعلى ذلك تكون حدود AOE تبعاً للعلاقة :

$$-83° \leq \angle S_3 / S_1 \leq 43°$$

وجود الإشارتين S_2 , S_3 تجعل الحدود عند النقطتين C, O على شكل قوس دائرى ، وتكون حدود ED بحيث S_3 يتأخر عن S_2 ، بينما حدود AB بحيث S_3 تتقدم S_2 ، وعلى ذلك للخاصية بشكل *(9-58)* فإن حدود العلاقة بين S_2 , S_3 كالآتى :

$$-81° \leq \angle S_3 / S_2 \leq 84°$$

وعلى ذلك فإن قيم ضبط المقارن وحدود المقارنة الناتجة للحصول على خاصية رباعى الأضلاع كالآتى :

فرضاً { $\theta(S_1) = 61°$, $\theta(S_2) = 20°$, $\theta(S_3) = 0$
$\delta(S_1) = 44°$, $\delta(S_2) = 81°$, $\delta(S_3) = 126°$ }

$(S_{12}+) = 42°$, $(S_{12}-) = 85°$, $(S_{13}+) = 65°$

$(S_{13}-) = 105°$, $(S_{13}+) = 106°$, $(S_{23}-) = 103°$

حيث :

$$(S_{12}+) = \theta(S_2) - \theta(S_1) + \delta(S_2)$$

$$(S_{12}-) = \theta(S_1) - \theta(S_2) + \delta(S_1)$$

وبذلك نحصل على إشارة مخرج إذا كانت جميع دورات *(Periods)* المقارن متراكبة خلال دورة واحد لإشارات المدخل .

ثانياً : باستخدام مقارن القيمة من النوع اللحظى :

أ) المتمم الاتجاهى *Directional Relay*

يتم تحويل الموجة الجيبية للجهد V إلى موجة مربعة تغذى دالة *AND* مع نبضة مزاحة بزاوية δ بعد التقاطع الصفرى للتيار I . أى نحصل على مخرج من دالة *AND* إذا وقعت موجة التيار I فى الحدود من $-\delta°$ إلى $(180 - \delta)°$ بالنسبة للجهد V ويكون للمخرج خاصية خط مستقيم يمر بالإحداثيات الأصلية ، كما فى شكل *(9-59)*أ

ب) المتمم الاتجاهى المقيد *Restricted Directional Relay*

يمكن أن نحصل على الخاصية الموضحة فى شكل *(9-59)*ب ، إذا تم تغذية دالة *AND* بمدخلين أحدهما نبضة بزمن t مللى ثانية بعد بداية التقاطع الصفرى لموجة الجهد V والمدخل الآخر بنبضة مشتقة بعد زاوية δ من التقاطع لموجةالتيار I ... أى أن نحصل على مخرج من المقارن عندما تقع الزاوية بين المدخلين I , V فى الحدود $-\delta \leq \theta \leq (\omega t - \delta)$

ج) متمم ذو خاصية رباعى الأضلاع *Quadrilateral Relay*

يحتوى المتمم على ثلاثة عينات *(Samples)* كمداخل لدالة *AND* هذه المداخل هى:

* عينة الجهد V عند التقاطع الصفرى الموجب *(Positive zero crossing)* للتيار I ويمثل بالمعادلة :

$$a = V_m \sin \phi$$

حيث : ϕ الزاوية بين الجهد V والتيار I .

* عينة الجهد V بعد التقاطع الصفرى للتيار I بالزاوية θ ويخضع للمعادلة :

$$b = V_m \sin (\phi + \delta)$$

* عينة التيار I بعد التقاطع الصفرى للتيار بالزاوية δ ويخضع للمعادلة :

$$c = I_m \sin \delta$$

تمرر العينة الأولى على زاوية إزاحة δ ثم تغذى المداخل الثلاثة دالة *AND*، ونحصل على إشارة مخرج من الدالة عندما تكون كل من العينتين الأولى والثانية أقل من العينة الثالثة .

وتكون حالة بداية التشغيل :

$$Z_L \ \sin\phi = X_L \le K$$

حيث :

$$K = \sin\delta$$

$$Z_L \ \cos(\phi - \alpha) \le K^1$$

$$\alpha = 90^\circ - \delta$$

أى تمثل المعادلة خاصية رباعى الأضلاع ، كما فى شكل *(9-59)* ج . ويوضح شكل *(9-60)*أ مكونات المقارن اللحظى المستخدم لمتممات الوقاية المسافية ويلاحظ أنه لا يحتاج إلى عمليات خلط للكميات I , V كذلك لا تحتوى على دوائر إزاحة الزاوية . ويتم مرور المداخل أولاً على دوائر توحيد . بينما يلاحظ بشكل *(9-60)*ب توضيحاً لمكونات دائرة القياس *(Measuring circuit)* والتى تكون عبارة عن :

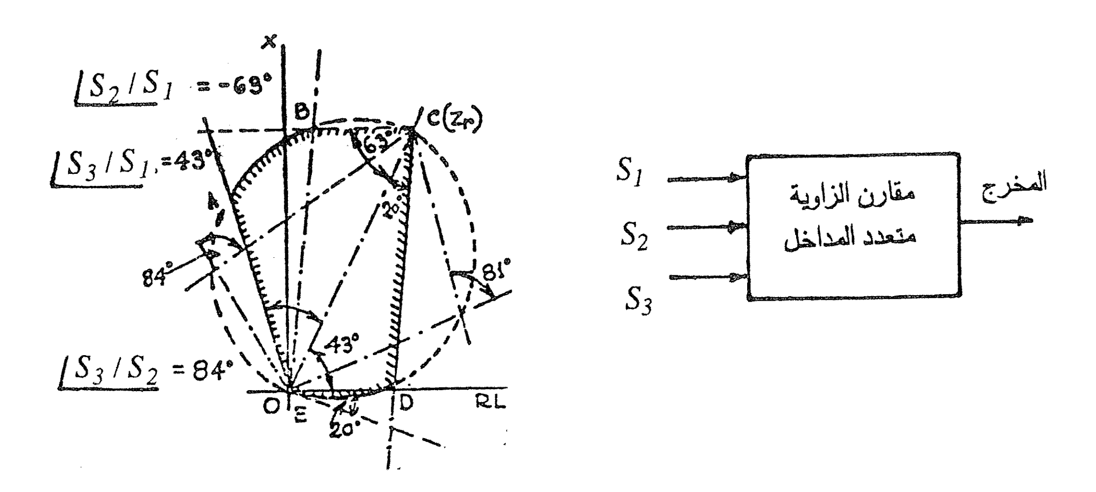
* دائرة العينة *(Sampling circuit)* ونحصل منها على نبضة بقيمة معينة .

* دائرة محول القيمة ومدى النبضة *(Amplitude-to-pulse width convertor)* ونحصل منها على نبضة لها مدى يساوى قيمة النبضة .

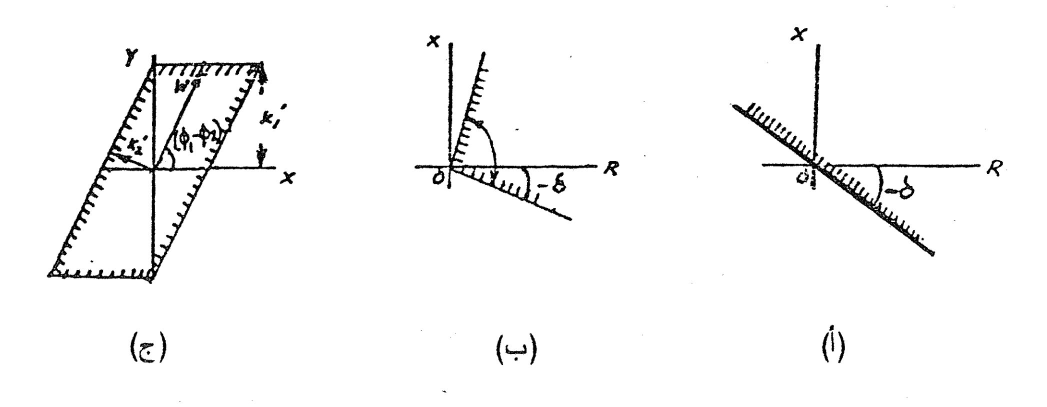
ومن الأمثلة الأخرى للمقارن اللحظى ، نجد الشكل التمثيلى الموضح بشكل *(9-61)*أ والذى تم الإستغناء فيه عن دائرة العينة ودائرة محول القيمة ومدى النبضة والمؤقت ، وكاشف التقاطع الصفرى ، حيث تم تصنيع متمماً يحتوى على دائرة قياس المداخل يتغذى بجهد وتيار الخط ونحصل منها على الجهود والتيارات الآتية :

$$K_1 I \angle \theta_1 \ , \ K_2 I \angle \theta_2 \ , \ K_3 V \angle \phi + \theta_3 \ , \ K_4 V \angle \phi + \theta_4$$

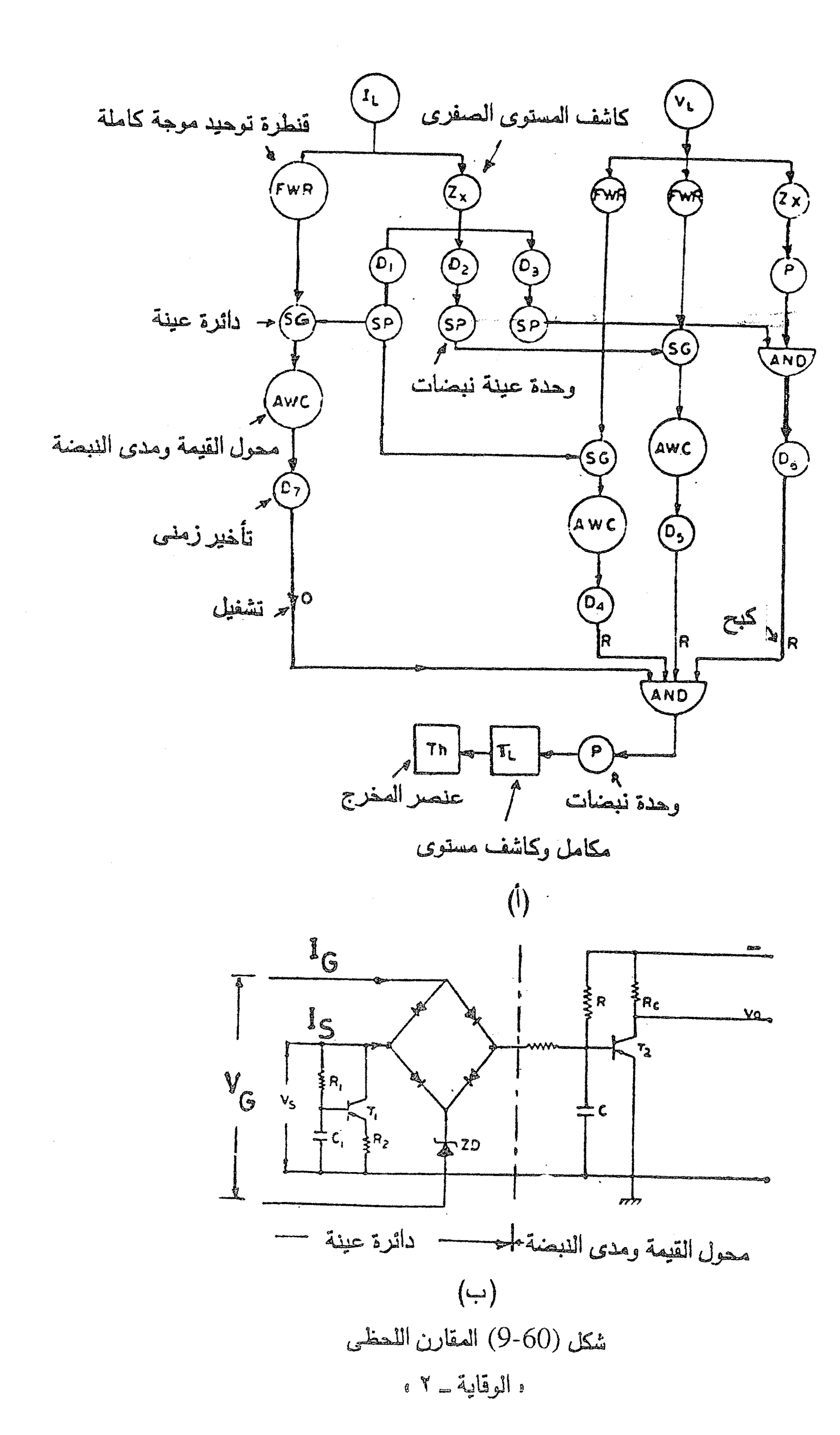
وتمر هذه القيم على توحيد الموجة الكاملة *(Full-wave rectification)* ولا يحتاج لإستخدام مرشحات ، ثم يغذى المقارن بهذه القيم ، وتعتبر الكميات بدلالة



شكل (58-9) مقارن الزاوية متعدد المداخل



شكل (59-9) خصائص المتمم الاتجاهى



شكل (9-60) المقارن اللحظى

التيار هى مداخل التشغيل للمقارن بينما الكميات بدلالة الجهد فهى مداخل الكبح للمقارن . ويخضع المقارن للمعادلة الآتية :

$$Z_L \leq \frac{|K_1 \angle\theta_1| + |K_2 \angle\theta_2|}{|K_3 \angle\phi + \theta_3| + |K_4 \angle\phi + \theta_4|}$$

وللحصول على خاصية رباعى الأضلاع نعوض فى المعادلة السابقة بالقيم :

$$K_4 = 0 \quad , \quad \theta_3 = 0$$

فنحصل على الخاصية الموضحة بشكل $(9\text{-}61)$ب وذلك عندما يكون مجموع كميات المداخل للتشغيل أكبر من مداخل الكبح ، كما فى شكل $(9\text{-}61)$ج ، يمكن تحديد إشارة الكبح ، عند حالة التشغيل ، تبعاً لقيمة الزاوية ϕ ، بالنقطة E والتى عندها يكون المدخل $K_1 I$ (أى تكون $K_2 I = 0$) ، أو بالنقطة F والتى عندها يكون المدخل $K_2 I$ (أى تكون $K_1 I = 0$) .

وتكون حالة التشغيل عند E إذا كانت θ_2 أكبر من θ_1 كالآتى :

$$|K_3 Z_L \sin(\theta_2 - \phi)| \leq |K_1 \sin(\theta_2 - \theta_1)|$$

أى أن :

$$|Z_L| \leq \frac{|K_1 \sin(\theta_2 - \theta_1)|}{|K_3 \sin(\theta_2 - \phi)|}$$

تمثل هذه المعادلة الخط AB فى شكل $(9\text{-}61)$ب .

وتكون حالة التشغيل عند النقطة F كالآتى :

$$|K_3 Z_L \sin(\phi - \theta_1)| \leq |K_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)|$$

أى أن :

$$|Z_L| \leq \frac{|K_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)|}{|K_3 \sin(\phi - \theta_1)|}$$

وتمثل هذه المعادلة الخط BC والذى يميل بزاوية θ_1 مع المحور الحقيقى .

ويحدث إتصال للخطين AB , BC عندما تتعدى الزاوية ϕ للمعاوقة الزاوية θ_1 . ويتحقق ذلك عند تساوى حالتى التشغيل السابقتين ، أى أن :

$$\frac{|K_1 \; sin(\theta_2 - \theta_1)|}{|K_3 \; sin(\theta_2 - \alpha)|} = \frac{|K_2 \; sin(\theta_2 - \theta_1)|}{|K_3 \; sin(\alpha - \theta_1)|}$$

ومنها نحصل على :

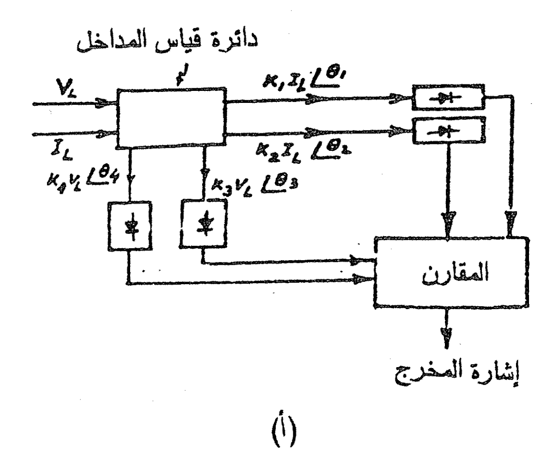
$$tan\, \alpha = \frac{K_1 \; sin\theta_1 + K_2 \; sin\theta_2}{K_1 \; cos\theta_1 + K_2 \; cos\theta_2}$$

ونتيجة لإستخدامنا لعملية توحيد الموجة الكاملة فإن خاصية المتمم تستكمل بالجزء *CDA*

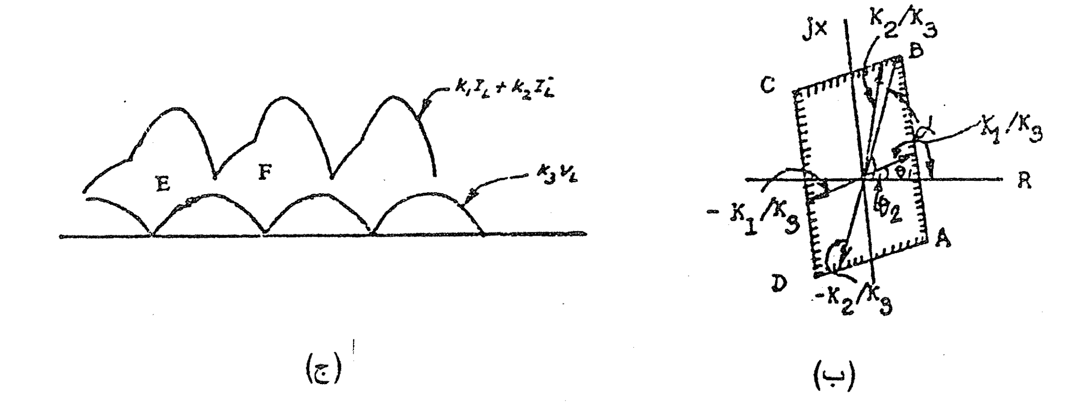
الخلاصة إننا نحصل من المقارن على نبضة تستخدم لفصل قاطع التيار ، إذا كانت كميات المدخل للتشغيل أكبر من كميات المدخل للكبح وذلك عند كل لحظة خلال كل نصف دورة . وعلى ذلك أمكن تمثيل المداخل كما فى الدائرة الكاملة لباقى مكونات المتمم الموضحة بشكل *(9-61)*د ، حيث يتم توصيل المدخلين على قاعدة الترانزستور T_1 ، والذى يعرف بمكبر المصد *(Buffer amplifier)* ويضبط جهاز الحياز E_b *(Bias voltage)* للترانزستور T_4 بحيث يسمح للمكثف C بالشحن المستمر لمدة نصف دورة ثم يتحول الترانزستور T_4 إلى حالة التوصيل . وتغذى قاعدة الترانزستور T_3 بالجهد المتردد V_L . فى الحالة العادية ، وخلال النصف دورة الموجبة للجهد V_L ، فإن T_3 يتحول الى حالة عدم التوصيل ويسمح للمكثف C بالشحن ، وإذا حدث خلال هذه الفترة وأصبحت قيمة كمية مدخل الكبح أكبر كثيراً من مدخل التشغيل فإن الترانزستور T_2 يتحول الى حالة التوصيل .

ويحدث تفريغ للمكثف C . ويمنع شحن المكثف خلال نصف الدورة الكامل . أما خلال نصف الدورة الآخر ، عندما تكون V_L سالبة ، يتحول T_3 إلى حالة التوصيل ويفرغ المكثف C . وتحدد المقارنة فى نصف دورة فقط .

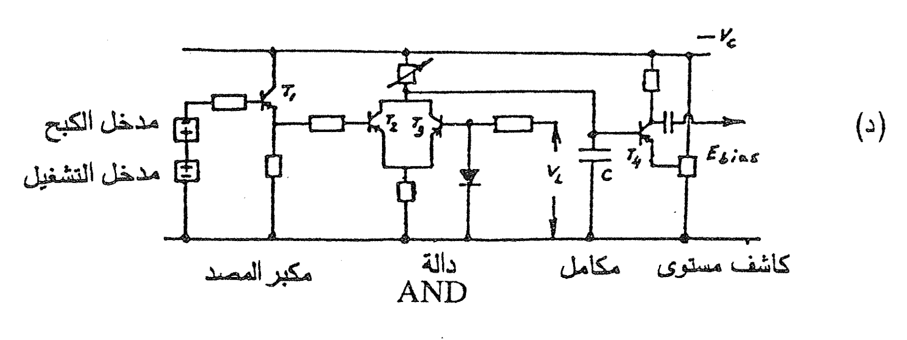
وعند حدوث عطل داخلى فى منطقة الفصل ، فإن مداخل التشغيل تكون أكبر بكثير من مداخل الكبح وذلك فى كل لحظة خلال النصف دورة وعلى ذلك يمكن شحن C لكل نصف الدورة ، ونحصل على نبضة مخرج من الترانزستور T_4 .



(أ)



(ج) (ب)



(د)

شكل (9-61) المقارن اللحظى

« الوقاية ـ ٢ »

إنتقاء كميات المدخل للمتمم *Selection of Relay Input Quantities*

يتكون متمم الوقاية المسافية أساساً من :

* العنصر الاتجاهى (عند الإحتياج) .
* عنصر قياس المعاوقة .
* المؤقت .

وتبعاً لخاصية المتمم يتم تحديد مداخل عنصر قياس المعاوقة والعنصر الاتجاهى .

ويجب أن يكون للمتمم ، المركب على نظام ثلاثى الأوجه ، حساسية لجميع الأعطال الآتية :

عطل على الثلاثة أوجه - عطل بين وجهين - عطل بين وجه والأرض - عطل بين وجهين والأرض . ولذلك يمكن تركيب متمم واحد له الحساسية لجميع هذه الأعطال ويغذى من دوائر الثلاثة أوجه للتيار والجهد ، أو يمكن تركيب ثلاثة متممات للثلاثة أوجه كل منهم يكون مسئولاً عن عطل بين وجهين ويعرف المتمم فى هذه الحالة بمتمم أعطال الأوجه *(Phase fault relay)* ، بالإضافة إلى ثلاثة متممات تكون مسئولة عن عطل وجه والأرض للثلاثة أوجه ويعرف المتمم بمتمم الأعطال الأرضية *(Earth fault relay)* وكل متمم يحتوى على ثلاثة عناصر لضبط معاوقة المراحل .

وتكون مداخل المتمم لأعطال الأوجه كالآتى :

الجهد : الجهد بين وجهين (مثلاً V_{ab}) .

التيار : الإختلاف بين تيار الوجهين المستخدمين فى الجهد (مثلاً $I_a - I_b$) .

وتكون مداخل المتمم للأعطال الأرضية كالآتى :

الجهد : الجهد بين وجه والأرض (مثلا V_{an}) .

التيار : تيار الوجه بالإضافة إلى التيار المتبقى مضروباً فى ثابت K (مثلاً $I_a + K\,I_{res}$)

حيث :

I_{res} : التيار المتبقى *Residual current* ويساوى :

$$I_{res} = 3I_0 = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$$

K : ثابت . ويخضع للمعادلة :

$$K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

Z_1 : مركبة التتابعية الموجبة لمعاوقة الخط من موضع المتمم وحتى العطل لكل وجه .

Z_0 : مركبة التتابعية الصفرية لمعاوقة الخط من موضع المتمم وحتى العطل لكل وجه .

ويوضح شكل *(9-62)*أ تغذية ملفات التيار والجهد لكل من متممى الأعطال الأرضية وأعطال الأوجه عن طريق محولات التيار والجهد المركبة على الخط للثلاثة أوجه .

ويوضح شكل *(9-62)*ب التوصيل بين ثلاثة متممات لأعطال الأوجه كل منها ثلاثة مراحل ، والإتصال مع العنصر الاتجاهى (عند الإحتياج أى تبعاً لخاصية المتمم) ومؤقتى المرحلتين الثانية والثالثة .

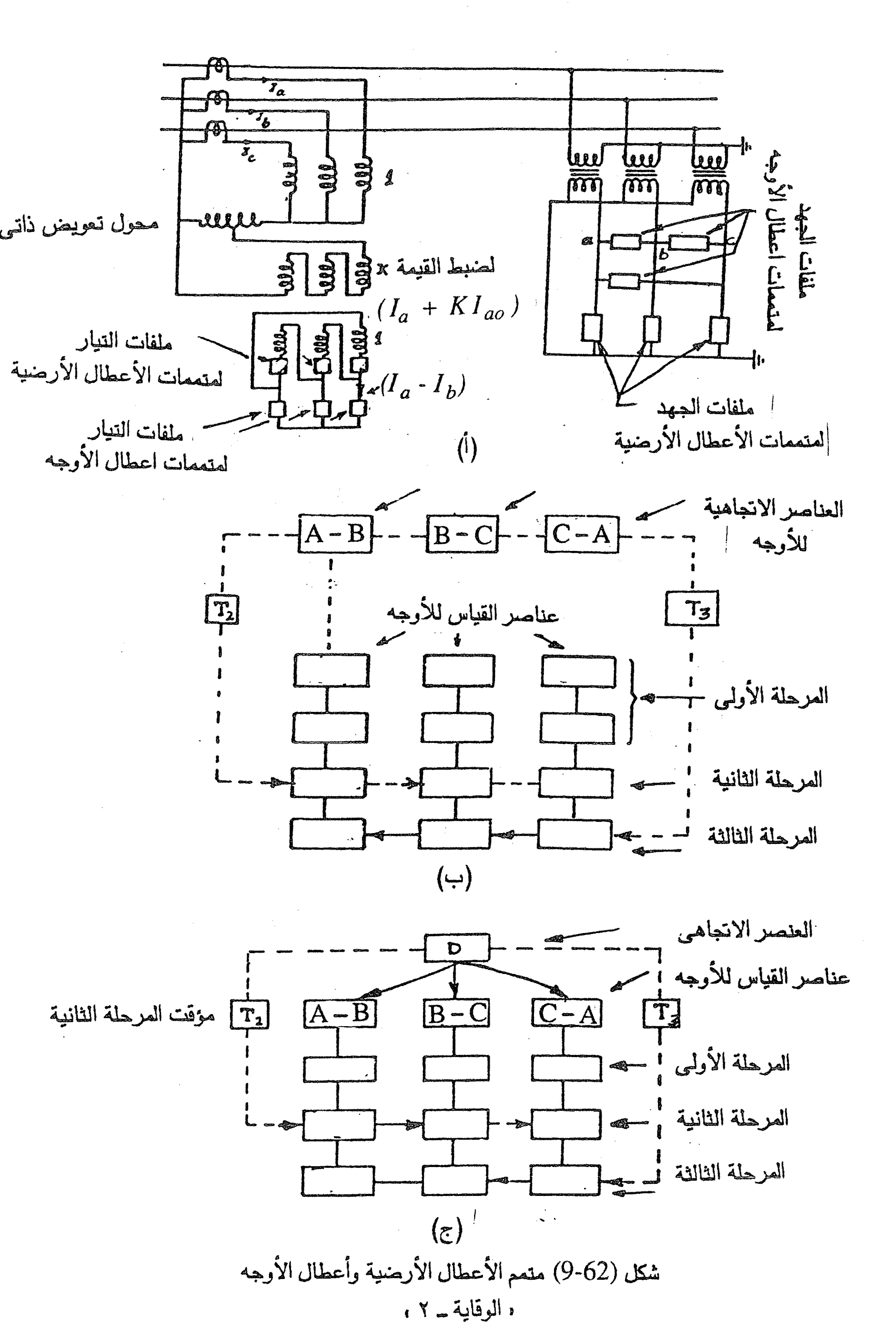
بينما يوضح شكل *(9-62)*ج ثلاثة متممات للأعطال الأرضية كل منها ثلاثة مراحل . وجميعها تغذى من عنصر إتجاهى واحد (عند الاحتياج) ومؤقتى المرحلتين الثانية والثالثة .

فعند حدوث عطل بين الوجهين C , B مع الأرضى أو بدون أرضى ، فإن مركبة التتابعية الموجبة للمعاوقة المقاسة تكون :

$$Z_{L1} = \frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{V_{bc}}{I_b - I_c}$$

حيث V_{bc} : الجهد بين الوجهين B , C

I_b , I_c : التيار المار بالوجهين B , C



شكل (62-9) متمم الأعطال الأرضية وأعطال الأوجه

وبالمثل للعطل A,B تكون المداخل للمتمم هى V_{ab} , $(I_a - I_b)$ بينما للعطل C,A فإن المداخل للمتمم تكون V_{ca} , $(I_c - I_a)$.

ولأعطال الوجه A مع الأرض فإن مركبة التتابعية الموجبة للمعاوقة من موضع المتمم وحتى العطل تكون :

$$Z_{L1} = \frac{V_{an}}{I_a + K I_{ao}}$$

حيث V_{an} : الجهد بين الوجه A ونقطة التعادل عند موضع المتمم .
I_a : تيار الخط .
I_{ao} : مركبة التتابعة الصفرية للتيار .

ويتم الحصول على القيمة K كالآتى :

$$V_{an} = V_{a1} + V_{a2} + V_{ao}$$

$$= E_1 - (I_{a1} Z_{s1} + I_{a2} Z_{s2} + I_{ao} Z_{so})$$

$$= I_{a1} (Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{so} + Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{Lo}) - I_{a1} (Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{so})$$

$$= I_{a1} (2Z_{L1} + Z_{Lo})$$

$$= I_{a1} \{3Z_{L1} + (n-1) Z_{L1}\}$$

وذلك بفرض أن : $Z_L = Z_{L1} = Z_{L2}$

$$Z_{Lo} / Z_{L1} = n$$

حيث Z_s معاوقة المصدر .

بإعادة كتابة المعادلة السابقة والتعويض عن $K = n - 1$ تصبح كالتالى :

$$V_{an} = (I_a + K I_{ao}) Z_L$$

وذلك بالتعويض عن

$$E_1 = I_{a1} (Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{so} + Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{Lo})$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{ao}$$

ويوضح شكل (9-63) عناصر المدخل لمتمم الوقاية الاستاتيكية ذى خاصية «مو» وطريقة إتصالها بمحولات التيار والجهد والمحولات المساعدة ومحول الخلط ، حيث يتغذى المتمم المدخلين :

* المدخل S_1 ويساوى جهد الوجه السليم (غير العاطل) (أى الجهد V_{ca}) .
* المدخل S_2 ويساوى $(I Z_r - V)$ حيث V الجهد بين الوجهين A, B أى الجهد V_{ab} ، بينما I تساوى $(I_a - I_b)$.

وهما مدخلا متمم الوقاية لأعطال الأوجه A, B ، ويمكن تمثيل متممات اعطال الأوجه A,C & B,C بنفس الطريقة .

اختيار خاصية متمم الوقاية المسافية :

سبق أن ذكرنا ، أن المعاوقة المقاسة بمتمم الوقاية المسافية تعتمد على طول الخط من موضع المتمم وحتى مكان العطل بشرط ألا يكون هذا الخط متأثراً بمعاوقات التوالى والتوازى . ولكن فى الحقيقة أن المعاوقة المقاسة تتأثر بمعاوقة التوالى للخط العاطل ومعاوقة التوازى للحمل والمعاوقة الناتجة عن الحث التبادلى *(Matual induction)* لوجود خطوط مجاورة للخط العاطل . كل هذا يؤدى إلى خطأ فى قيمة معاوقة الخط العاطل وذلك فى المرحلة الثانية والثالثة .

ويتم اختيار خاصية المتمم بحيث تعطى أحسن تمييز بين العطل فى الجزء العاطل وجميع الشروط الأخرى ولذلك من الضرورى دراسة استخدام خصائص مختلفة أو متشابهة للمراحل الثلاثة .

ويعتمد إختيار خاصية المتمم على العوامل الآتية :

أ) الاتجاهية :

وهذا يعنى أن نحدد منطقة الفصل فى الربع الأول للإحداثيات الأساسية R-X ، كما فى شكل (9-64)أ والتى يمكن أن تمتد إلى جزء صغير فى الربعين الثانى والرابع

وقد إستخدمت دائرة «مو» ، بداية ، فى المتممات المسافية كعنصر اتجاهى ، ثم بعد التوسيع فى إنتشار المتممات المسافية الاستاتيكية استخدمت الخطوط الاتجاهية المقيدة .

ويجب عند إختيار العنصر الاتجاهى التأكد من إشتغاله مع جميع الأعطال

غيرالمتماثلة *(Unsymmetrical faults)*».

وأبسط صور الخاصية الاتجاهية ، الخط المستقيم المار بمحاور الاحداثيات ومن الصور الأخرى ، خاصية «مو» أو موازنة «مو» أو رباعى الاضلاع الذى يمر أحد أضلاعه بالمحاور الأصلية للإحداثيات .

ب) التمييز بين العطل وحالة الأحمال العادية

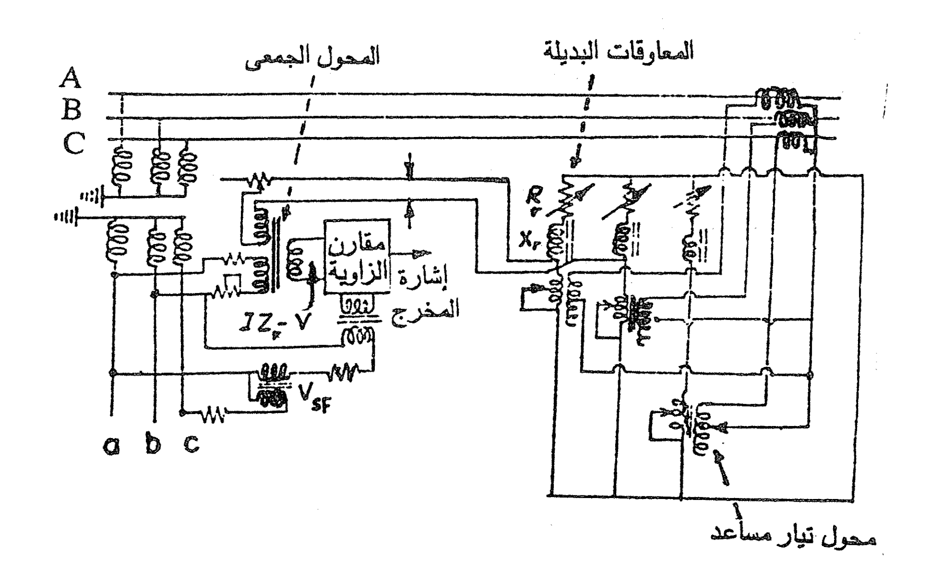
خلال حالات تأرجح القدرة *(Power swings)* يرى متمم الوقاية المسافية أن المعاوقة المقاسة أصبحت ذات قيمة صغيرة ، أو كما لو كانت حالة عطل معاوقة عالية (يعنى بأنها قيمة صغيرة بالمقارنة للمعاوقة التى يراها المتمم فى حالة الأحمال العادية والتى يجب أن تكون كبيرة) ، أى أن المعاوقة المقاسة لا تعطى دلالة لطول الخط . وأفضل الطرق للتمييز بين حالة حدوث عطل وحالة تأرجح القدرة أثناء الحمل العادى هو إستخدام خاصية الخط الحاجب *(Blinder)* . والذى يكون عبارة عن خط يوازى خط المحل الهندسى لمعاوقة الخط أو يميل قليلاً عنه ، ويوضح شكل *(9-64)*ب «المحل الهندسى لتأرجح القدرة كذلك المحل الهندسى للخط الحاجب . ويلاحظ أن إختيار الخط الحاجب يحدد عدم إشتغال المتمم فى حالة قياس معاوقة الخط عند تأرجح القدرة . كذلك يوضح شكل *(9-64)*ج إضافة الخط الحاجب لخاصية «مو» بحيث يقع المحل الهندسى لخط تأرجح القدرة خلفه .

ج) قياس المعاوقة

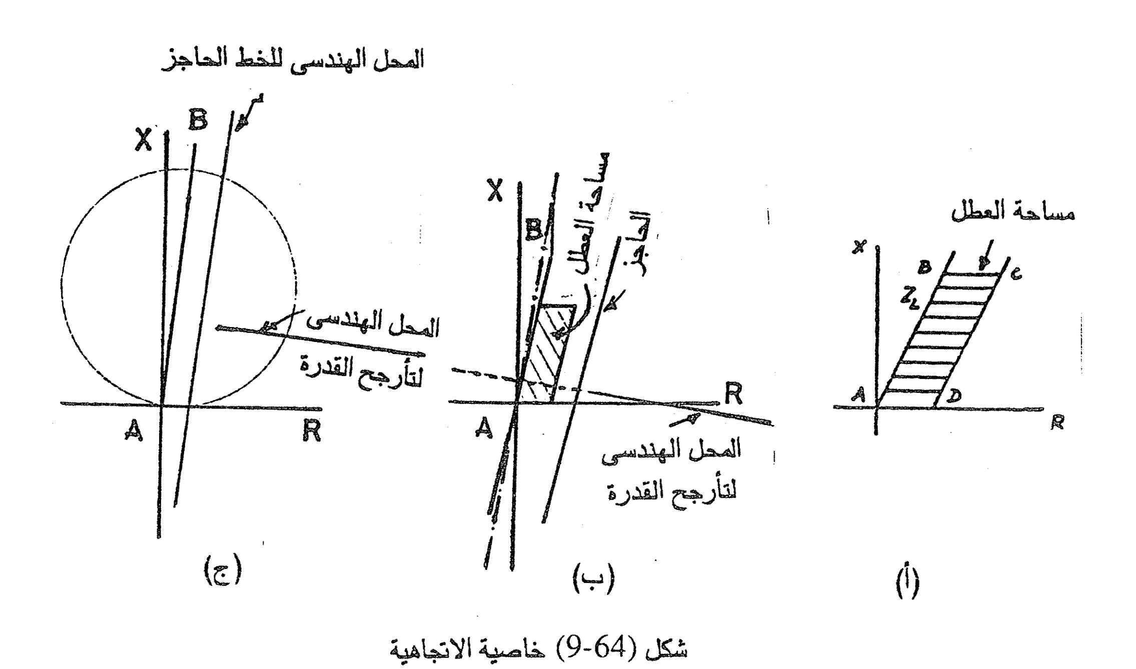
نجد أن متمم ذا خاصية «مو» له المقدرة على قياس المعاوقة بين موضع المتمم ومكان العطل . وعلى الرغم من أنه يمكن أن يحدث له حالة دون التجاوز *(Under reach)* لمقاومة عطل قريبة من نهاية الخط المركب عليه المتمم . وعلى ذلك تتناسب ممانعة *(Reactive)* الخط العاطل مع المعاوقة أو طول الخط ، بصرف النظر عن مقاومة العطل ، وبذلك تكون خاصية الممانعة هى أكثرهم رغبة .

وبأخذ الثلاثة عوامل السابقة فى الإعتبار فإننا نجد أن :

* تخضع خاصية «مو» لجميع العوامل الثلاثة ، لأن الدائرة تحتوى بداخلها مساحة العطل *(Fault area)* ، أى تناسبها من حيث المساحة .
* للخطوط الطويلة جداً وأيضاً الخطوط القصيرة جداً ، فإن مساحة العطل لا تتناسب مع خاصية «مو» ، ويكون المتمم أكثر عرضة للإشتغال الخاطئ عند حدوث حالات تأرجح القدرة .



شكل (9-63) عناصر المدخل لمتمم وقاية ذى خاصية « مو »



شكل (9-64) خاصية الاتجاهية

وعلى ذلك تكون أفضل خاصية فى هذه الحالة هى خاصية رباعى الأضلاع .
ويتم التحكم فى قيم X وأيضاً خطى الحاجز تبعاً لحالة الخط والشبكة المغذية له .
وتوجد أشكال متعددة لسلسلة خاصية «مو» مثل موازنة «مو» ، والعدسة ، الطماطم ....
كذلك يتغير ميل خطى الحاجز بخاصية رباعى الأضلاع وبالتحكم فى أطوال الأضلاع يمكن الحصول أيضاً على سلسلة من خاصية رباعى الأضلاع .

المتممات المسافية الموصلة *Switched Distance Relays*

يتكون المتمم من :

* مقارن زاوية أحادى *(Single phase comparator)* .
* كاشف أعطال *(Fault detector)* .

يكشف الكاشف عن أعطال الخط ويعمل على توصيل الجهد والتيار المناسبين للمقارن الذى يقيس بدوره المسافة من موضع المتمم وحتى العطل . وإذا كان العطل داخلى فيعطى المتمم إشارة بفصل قاطع التيار . وبهذا بدلاً من إستخدام عدد *6* وحدات منفصلة كوقاية مسافية ، ثلاثة لأعطال الأوجه وثلاثة للأعطال الأرضية ، فيكون متمم الوقاية المسافية الموصلة أفضل من حيث التكاليف نتيجة لإنخفاض عدد الوحدات .

وفى أغلب المتممات الحديثة ، تم تقليل وحدات القياس إلى الثلث ، وذلك بإستخدام نفس الوحدة لقياس المراحل الثلاثة للمتمم وذلك من خلال نقط تلامس المؤقت .

وتوجد أنواع متعددة للمتممات الموصلة ولكن أكثرها شيوعاً النوعين التاليين والذين يستخدمان للأعطال الأرضية وأعطال الأوجه للخطوط حتى *100* ك.ف .

أ) التوصيل دلتا ـ نجمة *Delta - Star Switching*

تبعاً لخاصية عنصر القياس المستخدم بالمتمم يتم توصيل ملفات التيار والجهد أما دلتا أو نجمة كالاتى :

* إذا كان عنصر القياس للمعاوقة *(Impedance)* أو المسامحية *(Admittance)* .

فإن عنصر بداية التشغيل يكون إما وقاية ضد زيادة التيار للأوجه أو كاشف أعطال من النوع «مو» *(Mho type fault detector)* وذلك لأعطال الأوجه بينما

يستخدم وقاية التسرب الأرضى لأعطال الأرضية ، كما فى شكل *(9-65)* وفيه يتم توصيل ملفات التيار والجهد على شكل نجمة .

* إذا كان عنصر القياس لقياس الممانعة *(Reactance)* .

فإن التوصيل يصبح دلتا لأعطال وجهين ونجمة لأعطال وجه والأرض بمعنى آخر فإن المتمم يمكن أن يقيس مركبات التتابعية الصفرية والسالبة للممانعة خلال أعطال الأوجه مؤدياً إلى فصل خاطئ . وللتغلب على ذلك يمكن توصيل نقط تلامس كاشف الأعطال فى دائرة الجهد لتوصيلة نجمة . ويعتبر هذا النوع غالى نسبياً نتيجة إستخدام نقط تلامس أكثر .

ب) التوصيل بين الأوجه *Inter-Phase Switching*

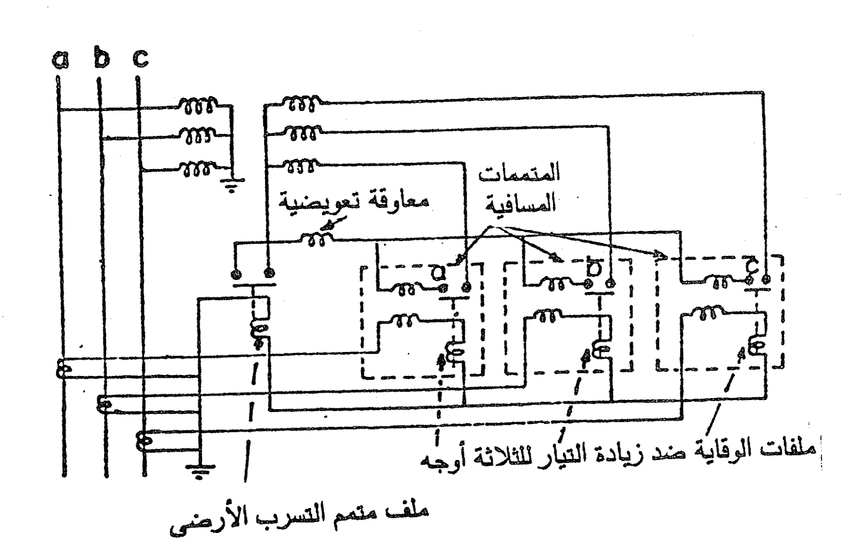
يوضح شكل *(9-66)* توصيل وحدة «مو» للكشف عن جميع الأعطال بين الأوجه، ويكون كاشف الأعطال عبارة عن وقاية ضد زيادة التيار اللحظى لأعطال الأوجه ووقاية ضد تسرب التيار الأرضى ، له خاصية عكسية بين التيار والزمن ، لكشف الأعطال الأرضية .

ولكشف الأعطال الأرضية يفضل إستخدام وحدة قياس ممانعة *(Reactance)* ، كما فى شكل *(9-67)* ، ويكون كاشف الأعطال عبارة عن عناصر ضد إنخفاض الجهد .

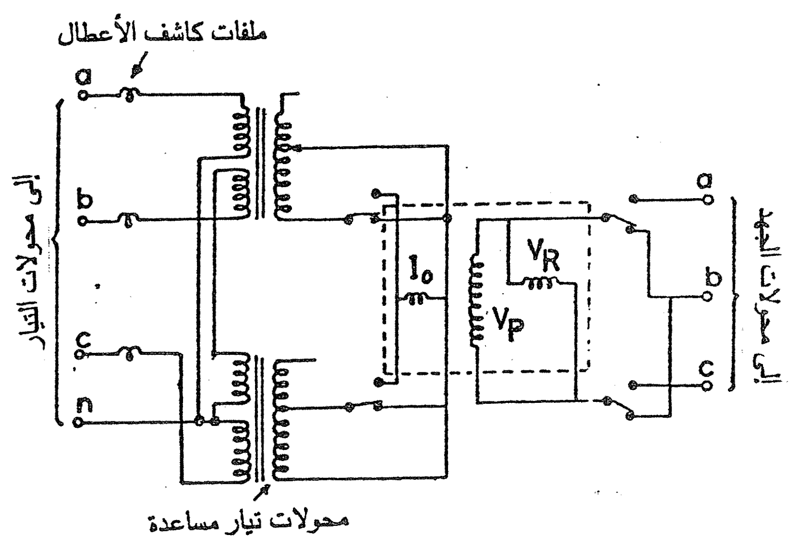
ويوضح شكل *(9-68)* ، متمم ممانعة للكشف على جميع الأعطال ، وتحتوى دوائر التيار على نقط تلامس تحويل لكل وجه . ويتم إختبار جهد الكبح V_R والجهد المستقطب V_P تبعاً لنوع العطل وعن طريق قفل نقط التلامس المناسبة والموضحة فى دوائر الجهد .

من أنواع المتممات المسافية الموصلة الاستاتيكية الحديثة ، النوع الممثل بشكل *(9-69)* ، ويعتمد على إختيار مداخل التيار والجهد المناسبة لنوع العطل ، وعن طريق مجموعة نقط تلامس مع عناصر البداية لكل من التيار والجهد يتم تشغيل المؤقتات والتى بدورها تحدد فى أى مرحلة حدث العطل .

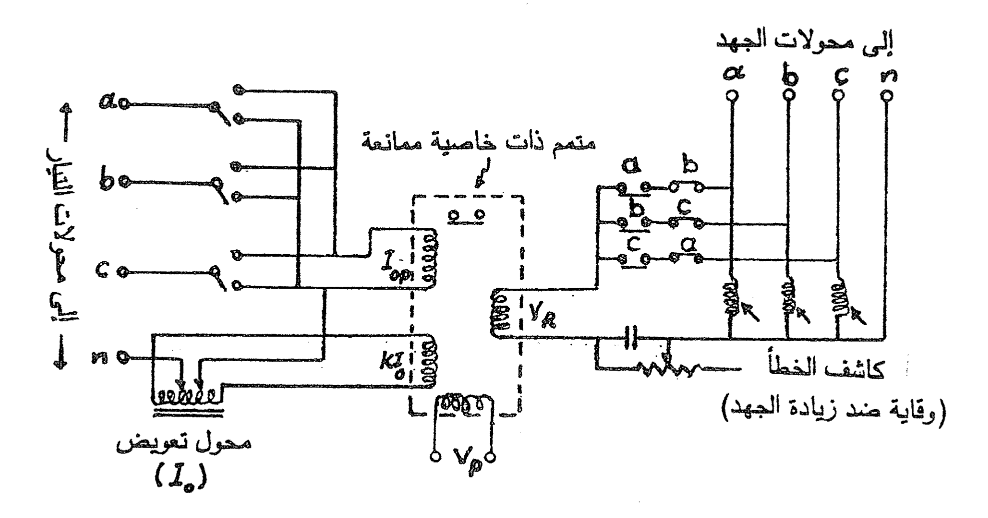
يمكن أن تكون عناصر البداية عبارة عن وقاية ضد زيادة التيار ، ومن الممكن إضافة عناصر ضد إنخفاض الجهد على التوالى مع عناصر الوقاية ضد زيادة التيار



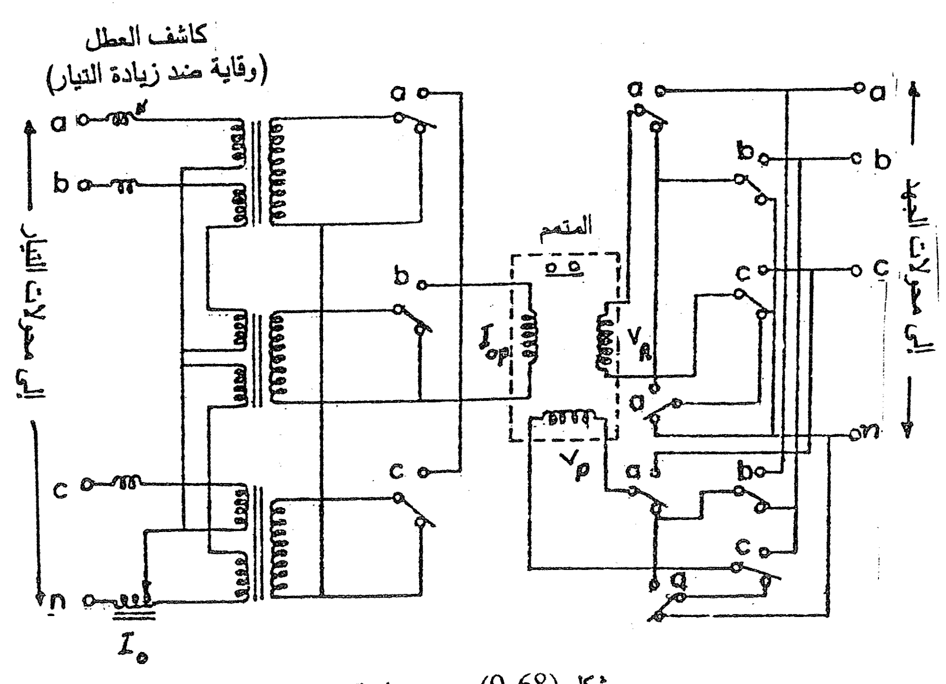
شكل (9-65) متمم الموصلة للأعطال الأرضية



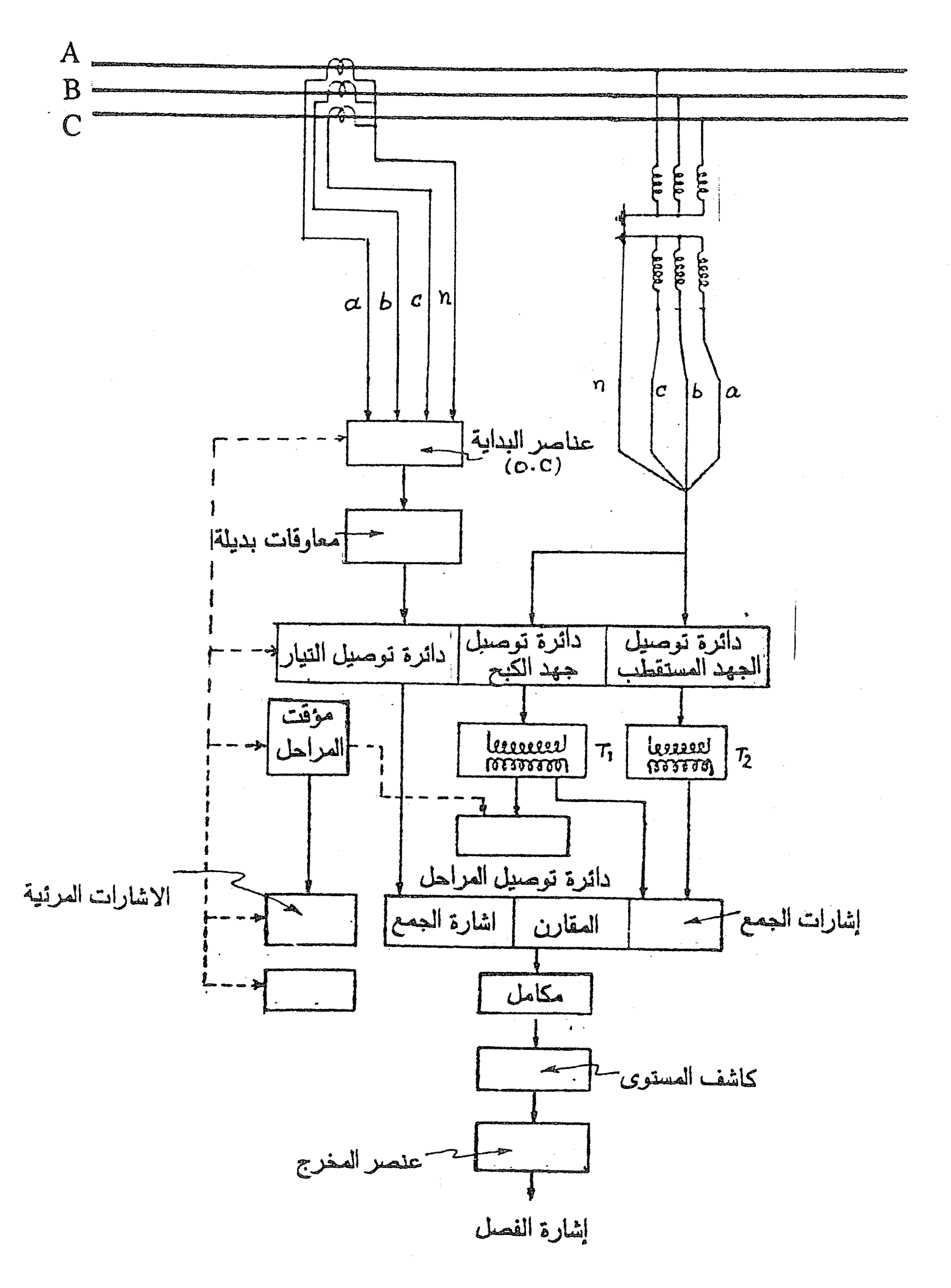
شكل (9-66) طريقة توصيل وحدة « مو »



شكل (67-9) وحدة قياس الممانعة



شكل (68-9) متمم ممانعة



شكل (9-69) متمم الوقاية المسافية الموصلة الاستاتيكى

وذلك للتأكد من حدوث عطل وليست حالة زيادة تيار فقط .

ويحتوى المتمم على عنصر قياس واحد عبارة عن وحدة «مو» مستقطب *(Polarized Mho unit)* والذى يتكون من مقارن تطابق دورة كاملة ومكامل وكاشف مستوى . تحتاج دائرة الكبح إلى مقاومة تعويض غير خطية وتحتوى دائرة المستقطب على دائرة إزاحة الزاوية ثم يجمعا فى دائرة إشارة الجمع *(Signal summing circuit)* . يصمم المحولان T_1 , T_2 والمعاوقة البديلة لكى تتحمل الجهد حتى *5* ك.ف وتؤرض عن طريق شبكة الكتروستاتيكية *(Electrostatic screen)* .

فى نظم الجهود المتوسطة ، عادة ، تستخدم الوقاية ضد زيادة التيار ككاشفات الأعطال لإختيار الأوجه التى يحدث عليها الأعطال ، وذلك لأن أقل تيار قصر يتعدى أقصى تيار تحميل . وأيضاً يمكن إستخدامها لتحديد الأعطال بين وجه والأرضى فى نظام مؤرض مباشرة مع الأرض ، وإذا كان النظام مؤرض من خلال مقاومة فإنه يستخدم وقاية ضد إنخفاض الجهد ، حيث يحتمل أن أقل تيار قصر أرضى لا يتعدى أقصى تيار تحميل ، ويتم توصيل نقط التلامس للوقاية ضد إنخفاض الجهد على التوالى مع نقط التلامس للوقاية ضد زيادة التيار . تستخدم كاشفات الأعطال الاستاتيكية أما من الترانزستورات أو من الدوائر المتكاملة ، والتى تحقق العوامل الآتية:

1) تختار الأوجه العاطلة فى الخط المركب عليه المتمم . ويكون له نفس الحساسية والسرعة لجميع الأعطال .
2) لعطل ثلاثى الأوجه ، فإن وحدة عطل الوجه تعمل على توصيل أى زوجين من الكميات . ولعطل بين وجهين فإن الكميات تصبح كميات من التوصيلة نجمة ، ولذلك فإن المداخل تؤخذ من أى من الوجهين العاطلين .

وفى يلى أنواع كاشفات الأعطال المستخدمة فى المتممات المسافية الاستاتيكية الموصلة .

أ) مقارن القيمة للكشف على أعطال الأوجه

Amplitude Comparison Scheme For Phase Fault Detection

يوضح شكل *(9-70)*أ مكونات كاشف أعطال الأوجه بإستخدام مقارن القيمة حيث يتكون من ثلاثة أجزاء متماثلة كل منها عبارة عن :

كاشفى مستوى تغذى بدوائر تيار الأوجه من خلال المقاومة R ، كما فى الشكل ، إذا تعدى هذا الجهد ، جهد المرجع لكاشف المستوى نحصل على إشارة تغذى دالة AND ، ثم إلى دائرة تفاضل *(Differentiator)* وإلى دائرة تطويل نبضات أحادية الإستقرار *(Monostable pulse strecher)* . ويعمل مخرج هذه الدائرة على إمداد ملف عنصر الفصل *(Trip unit or Slave unit)* بالطاقة . وتكون فترة مؤقت دائرة أحادى الاستقرار أكبر من زمن المرحلة الثالثة للمؤقت . ولحظة إمداد ملف عنصر الفصل بالطاقة يغذى عنصر المعاوقة *(Impedance unit)* بقيم التيار والجهد المناسبة للحالة .

وتكون كاشفات المستوى من نوع دائرة إطلاق شميت *(Schmitt trigger)* والتى نحصل منها على نبضات مربعة . وتكون الجهود والتيارات التى نحصل عليها من كاشفات الأعطال تبعاً لنوع العطل كالآتى :

نوع العطل *Type of Fault*	التيار *Current*	الجهد *Voltage*
عطل بين الوجهين A, B	$(I_a - I_b)$	V_{ab}
عطل بين الوجهين B, C	$(I_b - I_c)$	V_{bc}
عطل بين الوجهين C, A	$(I_c - I_a)$	V_{ca}
عطل بين الثلاثة أوجه A, B, C	$(I_a - I_b)$	V_{ba}

ب) نظام مقارن الزاوية للكشف على الأعطال الأرضية

Phase Comparison Scheme for Earth-Fault Detector

ويوضح شكل *(9-70)*ب المكونات الأساسية لهذا النوع ، ويكون عبارة عن مقارن زاوية للجهد بين وجهين *(Line-to-line voltage)* والجهد المتبقى *(Residual voltage)* ويمر الجهد الخطى على دائرة نبضات *(Pulse)* نحصل منها على نبضة سالبة عند نقط التقاطع الصفرى (أثناء التغيير من السالب إلى الموجب) . هذه النبضة مع الجهد المتبقى V_R يغذيان دالة AND . والتى نحصل منها على مخرج

الإستقرار إذا وقعت النبضة السالبة فى نصف الدورة السالبة للجهد V_R . وتكون حالة إشتغال دائرة أحادى الأستقرار *(Monostable)* عندما يتقدم الجهد بين الوجهين الغير عاطلين عن الجهد المتبقى ، أى عند حدوث عطل على الوجه A فإن الجهد V_{bc} يتقدم الجهد V_R . خلال عطل بين وجهين والأرض ، ويكون تشغيل عنصر المخرج *(R)* فى حالة زاوية متأخرة مقيداً عن طريق دائرة التقييد *(Inhibitor circuit)* .

ج) كاشف الأعطال بإستخدام دائرة dI/dt

Fault - Detector With dI/dt circuit

يوضح شكل *(9-70)*ج مكونات كاشف الأعطال عن طريق الكشف عن معدل التغير فى التيار بالنسبة للزمن أى dI/dt . فنحصل على جهد مستمر *(D.C)* يتناسب مع قيمة تيار العطل . وتكون لدائرة التفاضل d/dt الحساسية للتغيير المفاجئ . وتعتمد قيمة نبضة مخرج الدائرة d/dt على القيمة الناتجة من dI/dt . عند حدوث عطل بين وجهين فإن مخرج النبضات يظهر على دائرتى الوجهين ويغذيان دالة *AND* ، ثم دائرة تفاضل إلى دائرة أحادى الإستقرار ، ثم إمداد ملف عنصر المخرج بالطاقة وفى النهاية إشتغال عنصر المعاوقة .

ويوضح شكل *(9-70)*د طريقة أخرى لكاشف الأعطال بإستخدام دائرة dI/dt ، حيث يستخدم الإختلاف بين جهدين حادثين على ممانعتين *(Two inductance)* أحدهما معاوقة بديلة والأخرى دائرة من *L, C* (والتى عادة يكونان متساويين وفى إتفاق وجهى) ، نحصل على هذين الجهدين من دائرتين لكل منهما ثابت زمن *(Time constant)* مختلف ، وعند حدوث تغيير فى التيار الابتدائى للخط فإن هذين الجهدين يختلفان فى القيمة أو فى الزاوية أو الإثنين معاً ، ويؤثر هذا على كاشف أعطال الجهد ونحصل منه على إشارة فصل .

ويوضح شكل *(9-70)*هـ طريقة كاشف معدل إنهيار الجهد *(Rate of fall of voltag detection)* للأعطال الأرضية والتى تعمل بنفس الفكرة الموضحة بشكل *(9-70)*ج .

وتكون الجهود والتيارات المارة تبعاً لنوع العطل كالاتى :

الجهد Voltage	التيار Current	نوع العطل Type of Fault
V_a	$I_a + 3KI_o$	$A - N$ $A - B - N$
V_b	$I_b + 3KI_o$	$B - N$ $B - C - N$
V_c	$I_c + 3KI_o$	$C - N$ $C - A - N$

حيث :

$$K = \frac{Z_o - Z_1}{3 Z_1}$$

Z_o : مركبة التتابعية الصفرية للخط .

Z_1 : مركبة التتابعية الموجبة للخط .

مما سبق يتضح أن المتممات المسافية الموصلة *(Switched distance relays)* تحتوى على عنصر قياس واحد لجميع الأعطال ويتم إختيار تيار وجهد تشغيله من خلال دوائر توصيل معقدة نسبياً . ويكشف كاشف الأعطال عن العطل أولاً ثم تبدأ دوائر التوصيل فى العمل . ومن عيوبه إحتمالات الإشتغال الخاطئ *(Maloperation)* ، وعدم الدقة نسبياً نتيجة إختلاف زوايا المعاوقات .

*** المتممات المسافية متعددة الأوجه** *Polyphase Distance Relays*

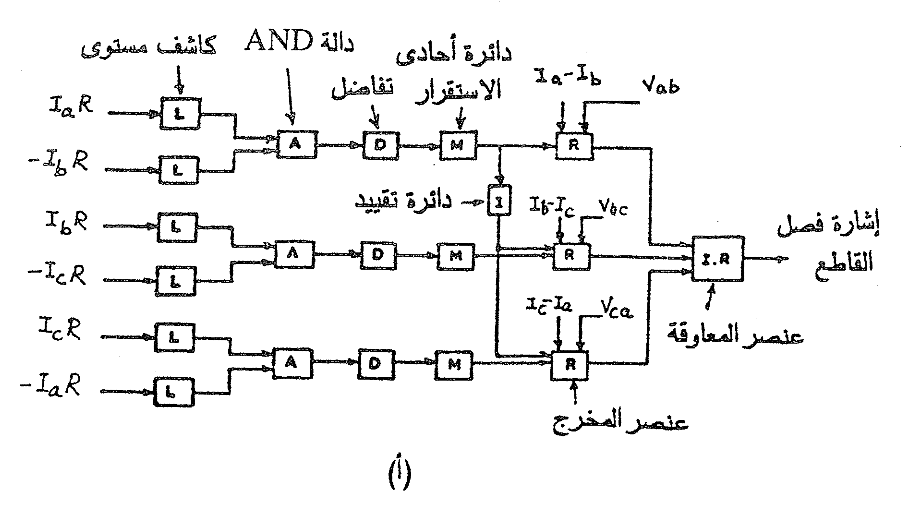
عند حدوث أى نوع من الأعطال على الخط فإن الجهد بين الوجه A والأرض عند العطل يعطى من المعادلة الآتية (وذلك بفرض إهمال مقاومة العطل) :

$$V_{fa} = V_{ra} - I_a Z_L$$

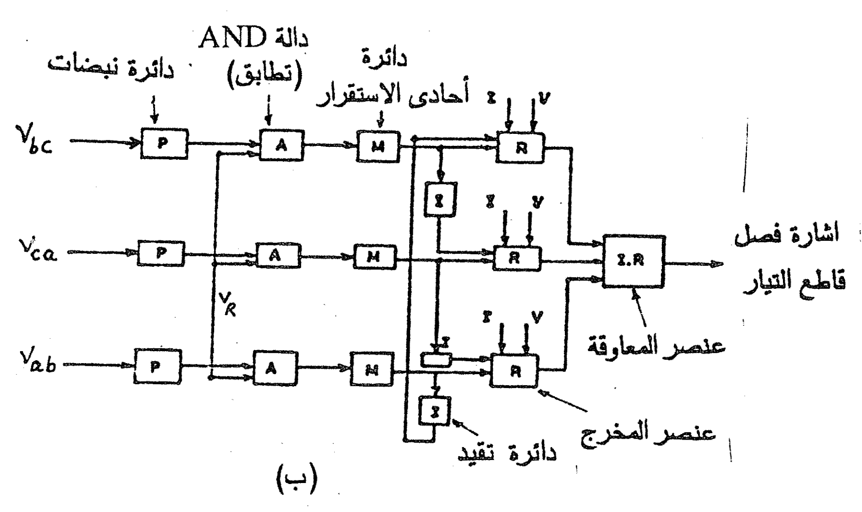
حيث : V_{fa} : جهد الوجه A عند نقطة العطل .

V_{ra} : جهد الوجه A عند موضع المتمم .

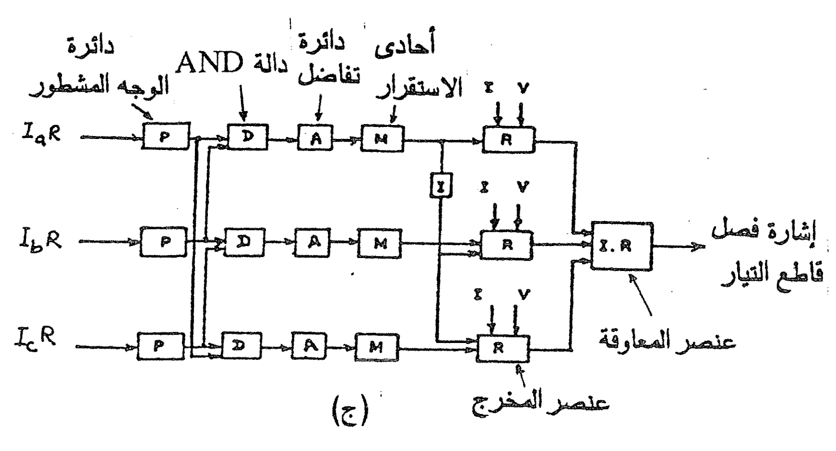
$I_a Z_L$: الهبوط فى الجهد .



(أ)

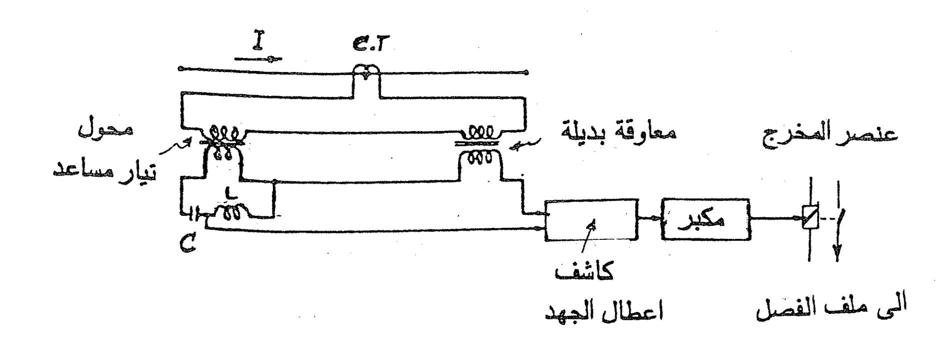


(ب)

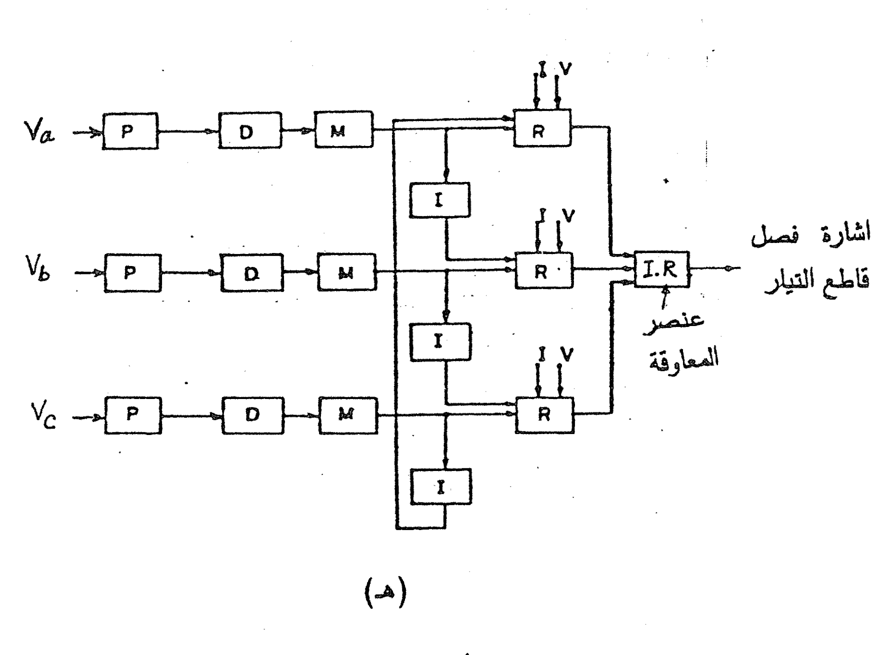


(ج)

شكل (70-9) مقارنات للكشف عن الأعطال



(د)



(هـ)

تابع شكل (9-70)

بتحويل التيار I_a إلى مركبات التتابعيات I_{a1} , I_{a2} , I_{ao} وتحويل المعاوقة Z_L إلى مركبات التتابعيات Z_{L1} , Z_{L2} , Z_{L0}

$$\therefore V_{fa} = V_{ra} - (I_{a1} Z_{L1} + I_{a2} Z_{L2} + I_{ao} Z_{Lo})$$

وبالتعويض بالمعادلات الآتية فى المعادلة السابقة فإن :

$$n = \frac{Z_{Lo}}{Z_{L1}}$$

$$Z_{L1} = Z_{L2}$$

$$K = (n - 1)$$

$$\therefore V_{fa} = V_{ra} - (I_a + K I_{ao}) Z_{L1}$$

وتكون قيم جهود التعويض للثلاثة أوجه كالآتى :

$$V_x = V_{ra} - (I_a + K I_{ao}) Z_r = V_{x1} + V_{x2} + V_{xo}$$

$$V_y = V_{rb} - (I_b + K I_{ao}) Z_r = a^2 V_{x1} + a V_{x2} + V_{xo}$$

$$V_z = V_{rc} - (I_c + K I_{ao}) Z_r = a V_{x1} + a^2 V_{x2} + V_{xo}$$

حيث : $Z_{L1} = Z_r =$ المعاوقة البديلة

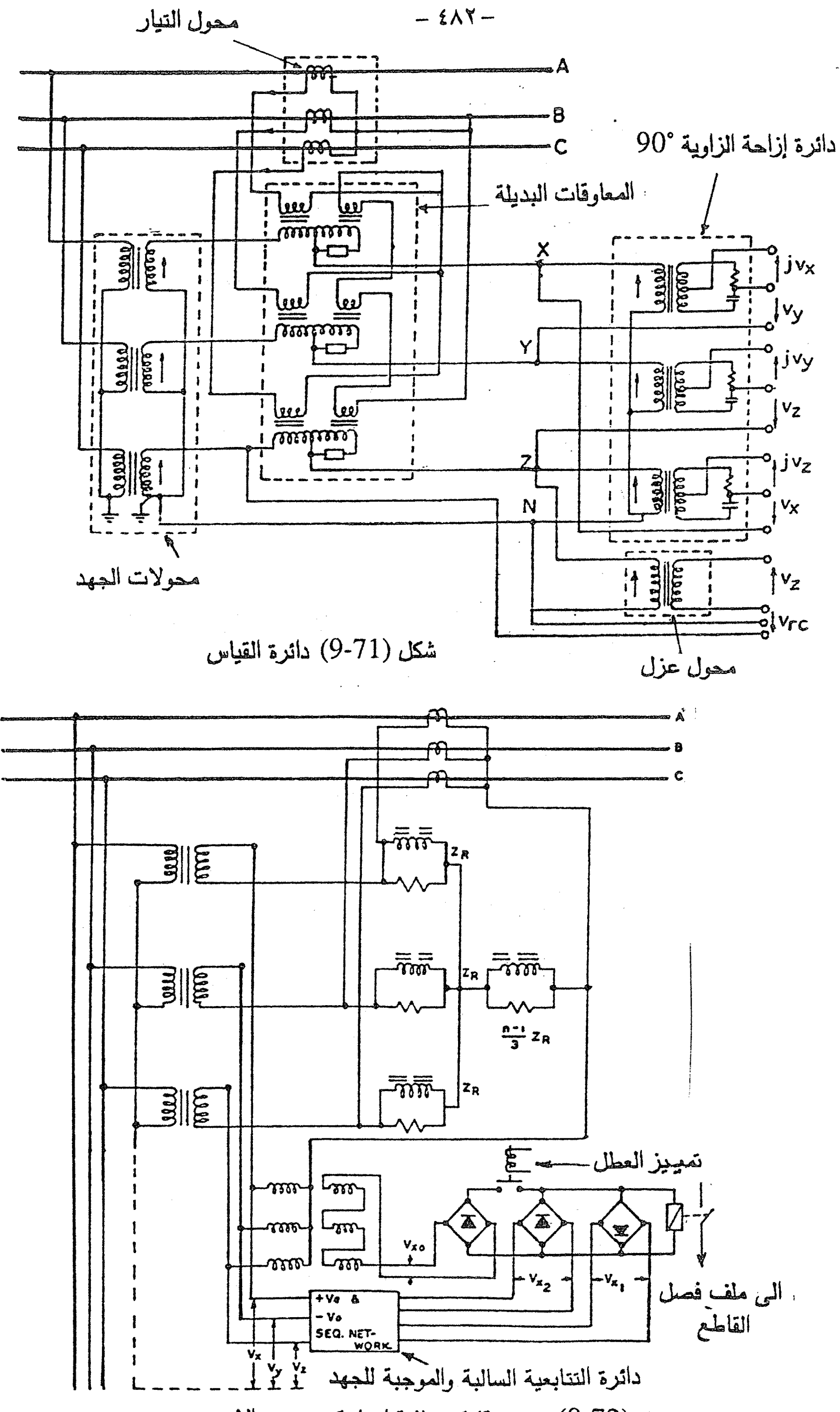
وتكون معادلات مركبات التتابعيات لجهد التعويض كالآتى :

$V_{x1} = V_{ra1} - I_{a1} Z_r$ مركبة التتابعية الموجبـة

$V_{x2} = V_{ra2} - I_{a2} Z_r$ مركبة التتابعية السالبـة

$V_{xo} = V_{rao} - I_{ao} n Z_r$ مركبة التتابعية الصفرية

وعلى ذلك يحتاج إلى دائرة قياس بالمتمم متعدد الأوجه للحصول على الجهود التعويضية عند حدوث الأعطال ، والتى تكون عبارة عن : معوقات بديلة *(Transactors)* ، ودائرة إزاحة الزاوية °90 *(90°phase-shifter)* ، ويوضح الشكل *(9-71)* دائرة قياس المتمم والتى نحصل منها على الجهود التعويضية للثلاثة أوجه V_x , V_y , V_z كذلك القيم المزاحة jV_x , jV_y , jV_z . ويوضح شكل *(9-72)* مكونات



شكل (71-9) دائرة القياس

شكل (72-9) متمم وقاية مسافية استاتيكى متعدد الاوجه

متمم وقاية مسافية استاتيكى متعدد الأوجه بإستخدام مقارن القيمة ، والذى يتم تغذيته بمركبات التتابعيات للجهد من خلال دائرة التتابعية الموجبة والسالبة *(Positive, negative sequence)* للجهد بينما نحصل على التتابعية الصفرية للجهد من خلال الدلتا المفتوحة لمحول الجهد .

يتحقق الشرط الآتى عند حدوث عطل على وجه A

$$V_{x1} = -(V_{x2} + V_{xo})$$

or

$$|V_{x1}| = |V_{x2}| + |V_{xo}|$$

ويتحقق الشرط الآتى عند حدوث عطل بين وجهين والأرضى أو بدون الأرضى :

$$|V_{x1}| = |V_{x2}|$$

ويوضح شكل *(9-73)* نوع آخر لمتمم وقاية مسافية متعدد الأوجه بإستخدام مقارن القيمة ، وتكون المعادلة العامة للمقارن :

$$Z_{L1} = \frac{(|V_{ra1}| - |V_{ra2}| - |V_{rao}|)}{(|I_{a1}| + |I_{a2}| + |nI_{ao}|)}$$

وتصبح المعادلة كالآتى تبعاً لنوع العطل :

أ) عطل على الثلاثة أوجه :

$$Z_{L1} = \frac{|V_{ra1}|}{|I_{a1}|}$$

ب) عطل على وجهين :

$$Z_{L1} = \frac{(|V_{ra1}| - |V_{ra2}|)}{(|I_{a1}| + |I_{a2}|)}$$

ج) عطل بين وجه والأرضى :

$$Z_{L1} = \frac{(|V_{ra1}| - |V_{ra2}| - |V_{rao}|)}{|I_{a1}| + |I_{a2}| + |nI_{ao}|}$$

وفى هذه الحالة إحتاج لدائرتى مركبات التتابعية لكل من الجهد والتيار . الآن ، أصبح الأكثر شيوعاً إستخدام مقارنات الزاوية فى متممات الوقاية المسافية متعددة الأوجه ، ومن أمثلة ذلك دائرة القياس الموضحة بشكل *(9-74)* والمستخدمة لكشف أعطال الأوجه ، ومقارن الزاوية من نوع الصحن التأثيرى ذات أربعة أقطاب *(4-pole induction-cup sine comparator)* ويخضع المدخلين للمعادلتين الآتيتين:

$$V_{xy} = (V_{ra} - V_{rb}) - (I_a - I_b) Z_r$$

$$V_{yz} = (V_{rb} - V_{ra}) - (I_b - I_c) Z_r$$

يمكن أيضاً أن يكون المقارن من نوع مقارن الزاوية $90°$ *(90° phase comparator)* وتصبح المداخل للمقارن jV_{xy} , V_{yz} بدلاً من V_{xy} , V_{yz} . لا يعمل هذا النوع عند حدوث عطل على الثلاثة أوجه ، مثل هذا النوع والذى تكون جهود التعويض له كالآتى :

$$V_x = V_{ra} - (I_a - 3 I_{ao}) Z_{r1}$$

$$V_y = V_{rb}$$

$$V_x = V_{rc}$$

$$V_{xy} = (V_{ra} - V_{rb}) - (I_a - 3 I_{ao}) Z_{r1}$$

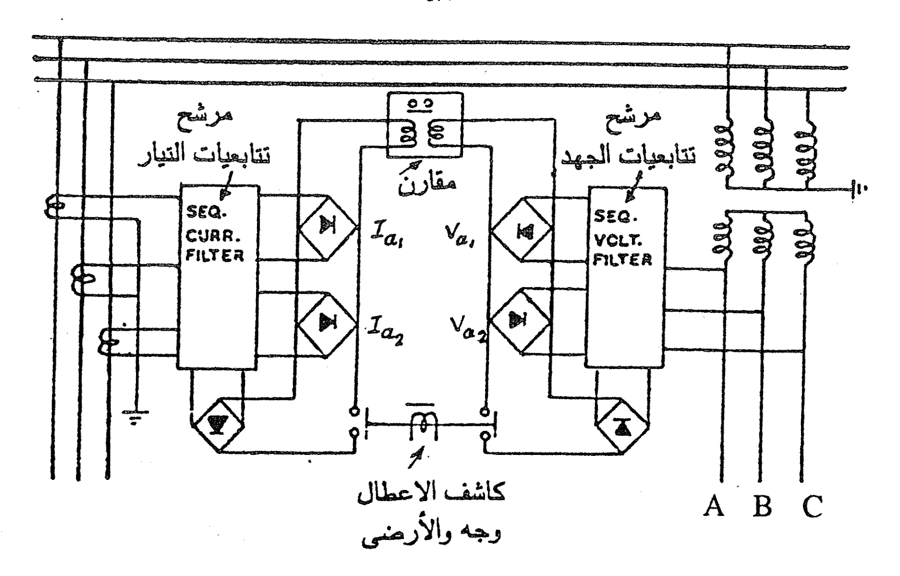
$$V_{yz} = (V_{rb} - V_{rc}) = V_{bc}$$

ويكون المدخلان V_{yz} , V_{xy} مسئولان عن عمل مقارن الزاوية (من نوع الصحن التأثيرى) عند العمل أثناء حدوث قصر على الثلاثة أوجه ، وتكون قيمة Z_{r1} مساوية *1.5* من قيمة Z_r .

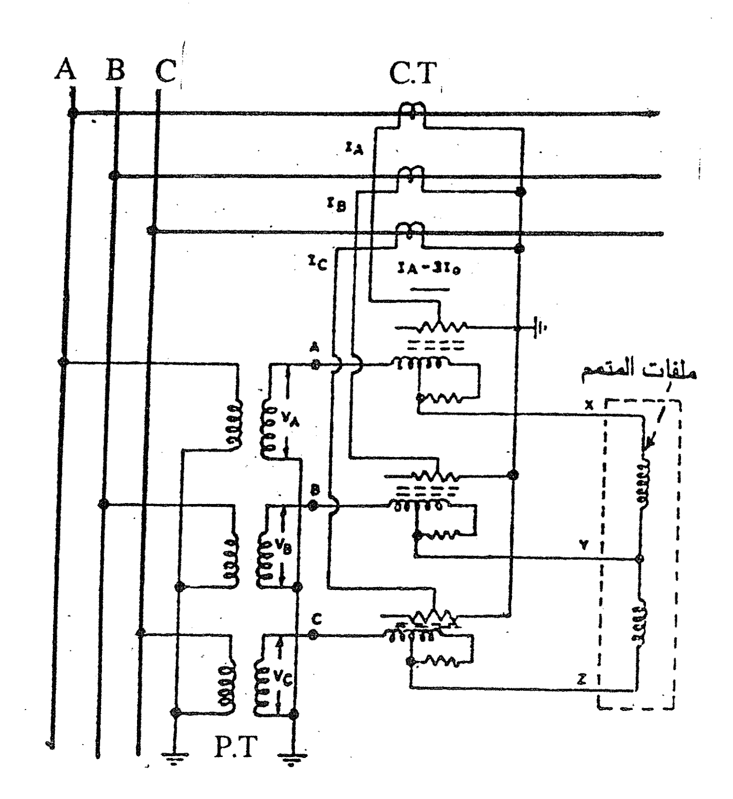
وفيما يلى أمثلة لمتممات الوقاية المسافية الاستاتيكية .

أ) متمم وقاية مسافية استاتيكى (صناعة السويد) :

يتكون المتمم من أجزاء استاتيكية هى عنصر القياس (المقارن) والمؤقت ، بينما عمليات اختيار الجهود والتيارات *(Phase switching)* وكذلك عنصر الفصل *(Tripping unit)* فتكون عبارة عن أجزاء كهرومغناطيسية .



شكل (9-73) متمم وقاية مسافية متعدد الاوجه



شكل (9-74) دائرة القياس

ويوضح شكل (9-75)أ المكونات الأساسية للمتمم . والتى يمكن تلخيصها فى الآتى:

* عنصر بدء التشغيل *Starting element*

عبارة عن ثلاثة عناصر معاوقة *(Impedance unit)* ، وعنصر لمركبة التتابعية الصفرية للتيار *(Zero sequence current)* (أحياناً يمكن أن يكون عبارة عن ثلاثة عناصر وقاية ضد زيادة التيار فقط) .

ويتم تخفيض قيمة التيار الثانوى لمحولات التيار من خلال محولات تيار وسيطة *(Intermedate C.Ts)* ، ثم تغذى مع دوائر الجهد لعناصر البداية للمتمم .

* عنصر القياس *Measuring element*

يحتوى المتمم على عنصر قياس واحد . يغذى من عنصر الأوجه الموصلة *(Phase switching)* ، والذى يتم تغذيته من دوائر الجهد للثلاثة أوجه بينما يغذى بدوائر التيار من خلال محولات التيار الوسيطة ، ويلاحظ أن وجود نقط التلامس لعنصر توصيل الأوجه لا تمثل أى مخاطر عندما تكون نقط التلامس مفتوحة ، أى دائرة التيار الثانوية مفتوحة ، حيث أن التيار الثانوى لمحولات التيار الوسيطة تكون صغيرة جداً جداً . وعنصر القياس عبارة عن مقارن زاوية له خاصية اتجاهية . ويكون أقل جهد تشغيل (أى الحساسية للإتجاهية *Directional sensitivity*) حوالى *0.1%* من قيمة الجهد المقنن وبذلك فإن المتمم يكون له كفاءة عالية للتشغيل عند أعطال قريبة جداً بدون استخدام دائرة ذاكرة *(Memory circuit)* .

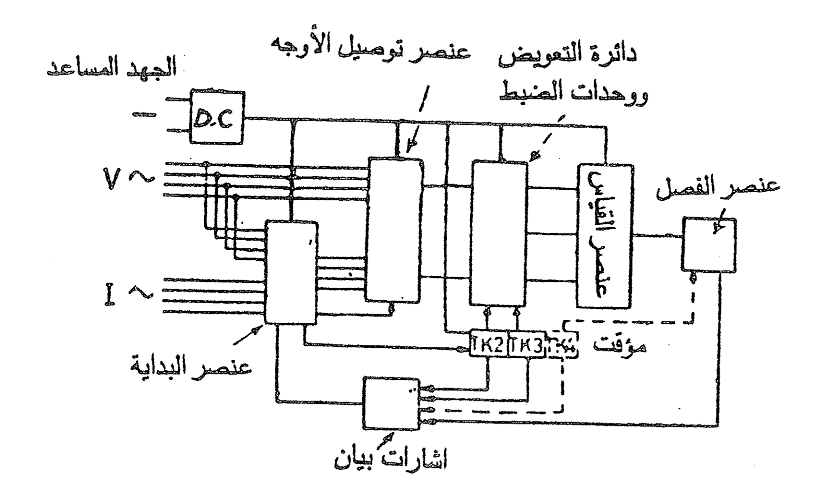
ويوضح شكل (9-75)ب خاصية متمم الوقاية المسافية ، وهى عبارة عن ثلاثة مراحل لخاصية ممانعة اتجاهية *(Reactive direction)* . ويكون الضبط كالآتى :

* مقاومة العطل R_f وتضبط على قيمة تساوى ثمانية أمثال X_1 إذا كان الخط قصير أو متوسط الطول .

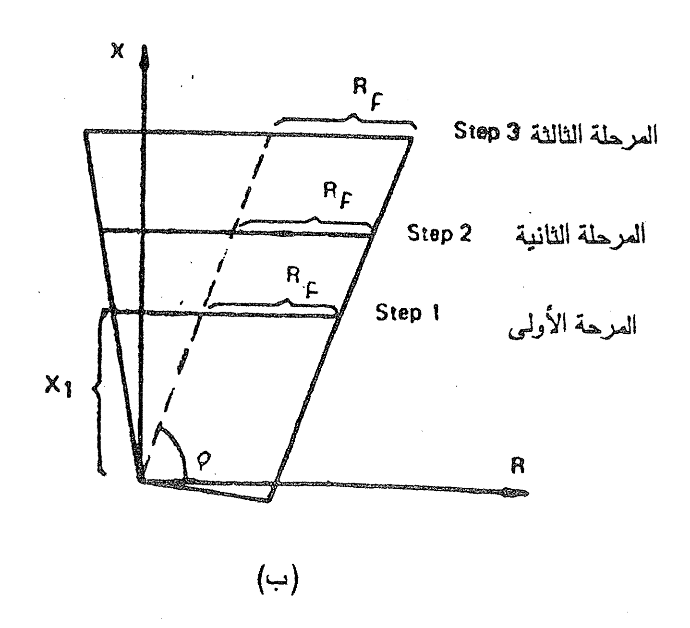
* الممانعة X_1 (والتى تعتمد على قيمة التيار الثانوى المقنن للمتمم) تكون حدود الضبط كالآتى :

0.25 - 64 أوم / وجه عند مقنن تيار يساوى *1* أمبير .

0.125 - 32 أوم / وجه عند مقنن تيار يساوى *2* أمبير .



(أ)



(ب)

شكل (9-75) مكونات وخصائص المتمم

وللحصول على هذه الخاصية ، يستخدم عنصر قياس ، كما فى شكل (9-76)أ والذى يتكون من مقارنى زاوية ، الأول يقارن الزاوية بين الجهد والتيار ϕ تبعاً للعلاقة :

$$\phi = \frac{\angle V}{\angle I}$$

$$\phi_1 \leq \phi \leq \phi_2$$

وعادة يضبط المقارن الأول على :

$$\phi_1 = -15^\circ$$

$$\phi_2 = 100^\circ$$

وهذا يعطى حدود أو الإتجاهية للخاصية والتى تكون قريبة للربع الأول للإحداثيات R, X ، كما فى شكل (9-76)ب .

أما المقارن الثانى فإنه يقارن الزاوية بين التيار I وجهد التعويض $\{I\ (Z_k+R_f)-V\}$ والتى تحدد من صفر إلى ϕ_3 أى أن :

$$0 \leq \angle \frac{I(Z_k + R_f) - V}{I} \leq \phi_3$$

$$0 \leq \angle (Z_k + R_f) - Z \leq \phi_3$$

وعملياً تضبط ϕ_3 بحيث تساوى تقريباً $(\phi_k + 5^\circ)$

ونحصل من المقارنين على المساحة الداخلية لرباعي الأضلاع $ABCD$ فى شكل (9-76)ب .

إذا أعطى كل من المقارنين نبضة فى نفس اللحظة فإن المعاوقة المقاسة تقع فى منطقة الفصل . وتكون المعاوقة المقاسة Z_k عبارة عن ممانعة X ومقاومة R ولها زاوية ϕ_k ، وعند ضبط كل من X, R_b يمكن الحصول على خاصية رباعى الأضلاع للمتمم . يكون كل مقارن عبارة عن جزئين كل جزء مسئول عن المقارنة فى نصف دورة الموجة الجيبية وعلى ذلك نحصل على نبضة مخرج للفصل كل نصف دورة

بمعنى آخر أن زمن تشغيل عنصر القياس يكون حوالى *10* مللى ثانية .

بالرجوع إلى شكل *(9-76)*أ نجد أنه بعد الحصول على مداخل عنصر القياس من دائرة التعويض تكبر وتحول إلى موجات مربعة من خلال المكبرات التشغيلية *(Operational amplifier)* . كذلك يحتوى عنصر القياس على دالتى *AND* ودالة *OR* وذلك للحصول على إشارة مخرج كل نصف دورة ، والتى تغذى عنصر مخرج لإعطاء إشارة لفصل قاطع التيار .

ب) متمم وقاية مسافية استاتيكى (صناعة سويسرية) :

وهو عبارة عن كارتات *Cards* ، كما فى شكل *(9-77)* ، ويتكون من العناصر الاتية :

1) عناصر البداية *Starting elements*

عبارة عن ثلاثة عناصر وقاية ضد زيادة التيار للثلاثة أوجه (أو وقاية ضد إنخفاض المعاوقة ذو خاصية دائرة) .

2) عنصر القياس *Measuring element*

عبارة عن ثلاثة وحدات

* وحدة الحصول على الخاصية الاتجاهية .
* وحدة الحصول على خاصية الممانعة .
* وحدة الحصول على خاصية المقاومة .

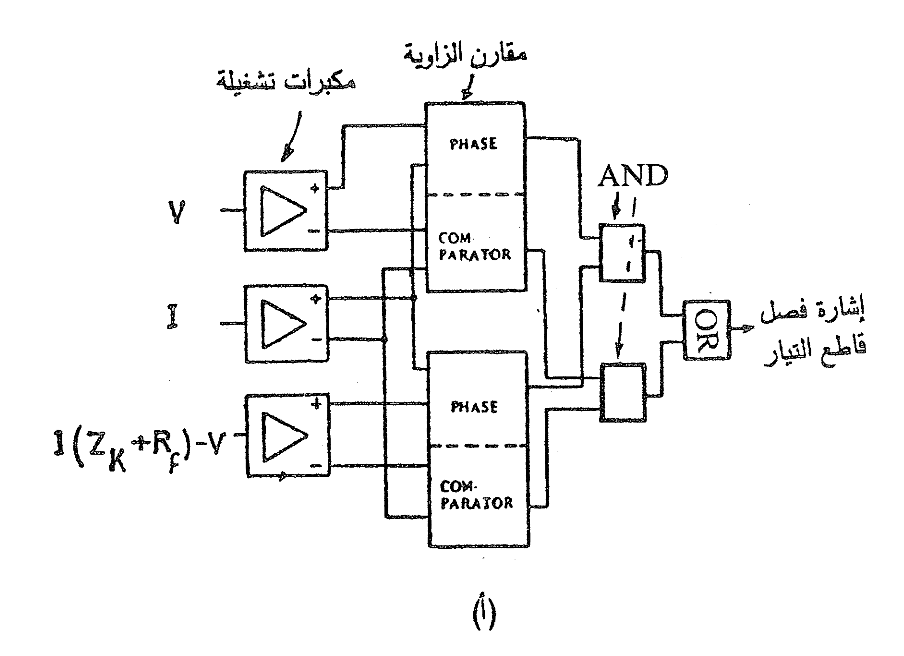
بمرور مخارجهم على دالة *AND* نحصل على خاصية رباعى الأضلاع يحتوى على ثلاثة مراحل للمعاوقة .

3) المؤقت *Timer*

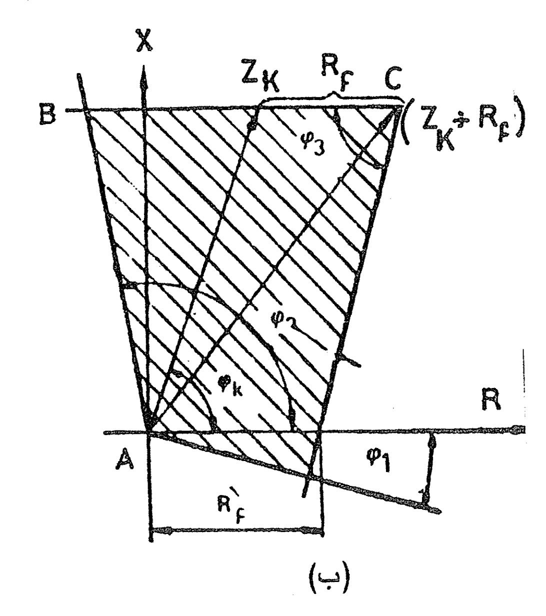
عبارة عن مؤقت رقمى *(Digital timer)* يحتوى على مذبذب مرجع الكوارتز *(Quartz reference oscillator)* له أربعة مراحل حدود كل منها من صفر إلى *9.99* ثانية .

4) محول *D.C/D.C*

يحتاج المتمم إلى الجهود المساعدة $\pm 24\ V$, $\pm 15\ V$ والتى نحصل عليها من محول *D.C/D.C*

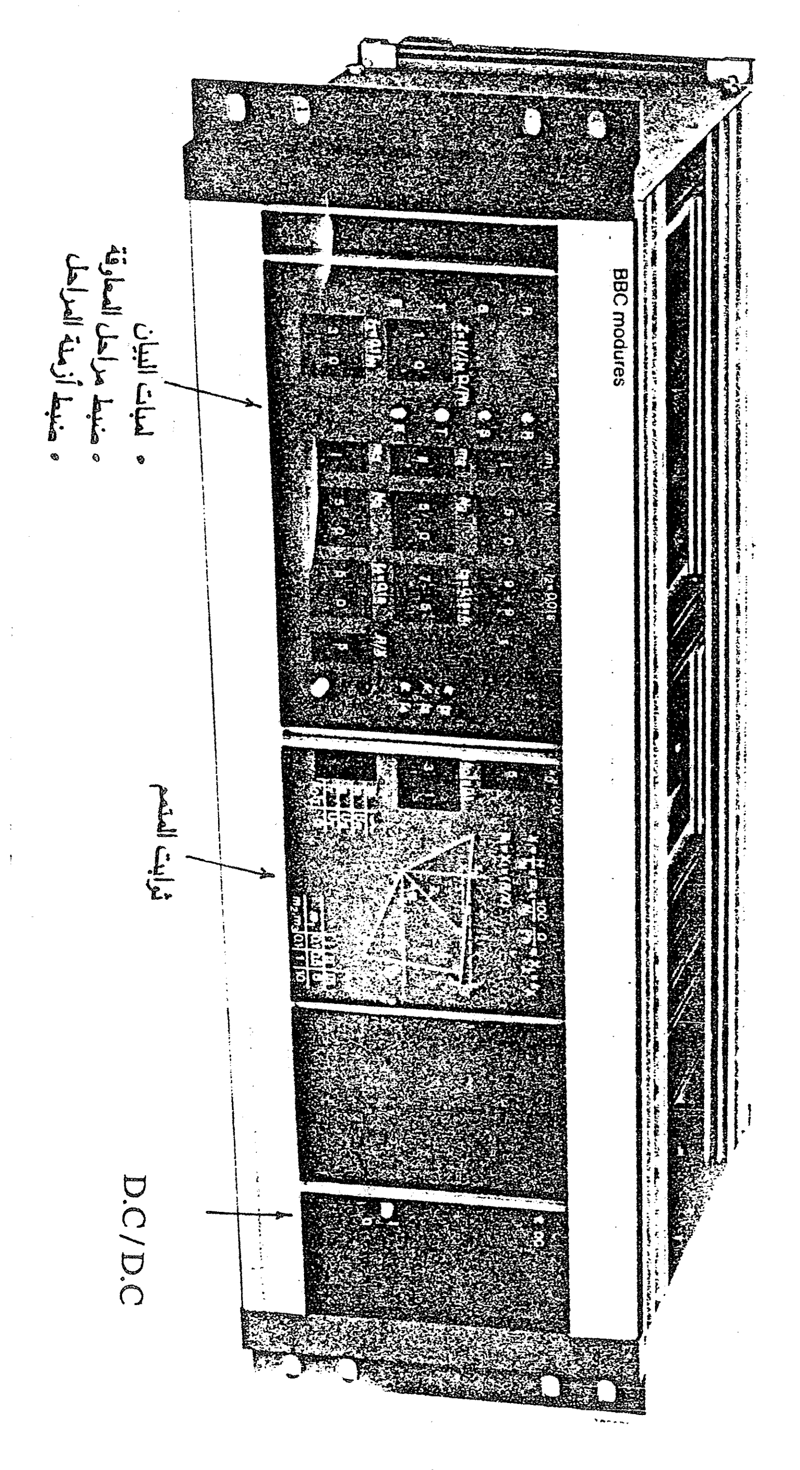


(أ)



(ب)

شكل (9-76) عنصر القياس



شكل (9-77) الشكل الخارجي للمتمم

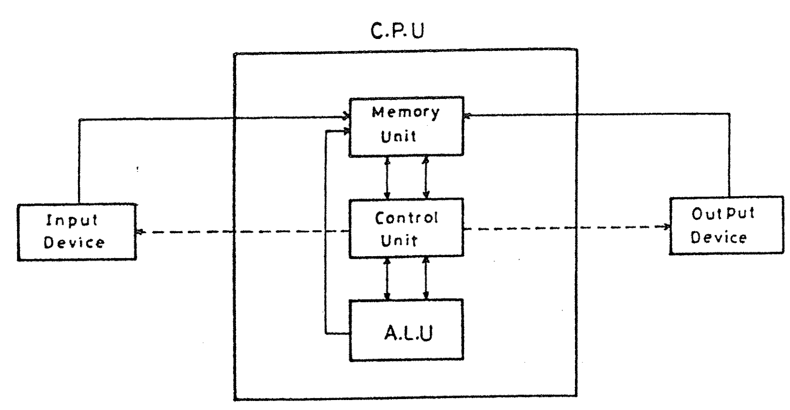
شكل (78-9) دائرة المتمم الموضح فى شكل (77-9)

الباب العاشر
المتممات الرقمية
DIGITAL RELAYS

يطلق على المتممات الرقمية بمتممات الحاسب الآلى *(Computer relays)* أو المتممات العددية *(Numerical relays)* أو المتممات المبرمجة *(Programble relays)* ومنذ عام *1971* بدأ إستخدام الدوائر المتكاملة *(ICs)* فى تصنيع الحاسبات الآلية وصاحب ذلك التوسع فى إستخدام الحاسبات الآلية فى جميع الأغرض الصناعية والتجارية و.... وفى حوالى الثمانينات بدأ إستخدام الحاسبات الآلية بمتممات الوقاية وعرفت بالمتممات الرقمية .

وأن الدوائر المتكاملة *(ICs)* (وتسمى أحياناً الشريحة *Chip*) عبارة عن شريحة سليكونية صغيرة تحتوى على عدد كبير من البوابات *(Gates)* تصل بينهم طبقات معدنية رقيقة جداً تقوم بعمل التوصيلات ، ويمكن إستخدام الشريحة كذاكرة رئيسية *(Memory)* أو كوحدة معالجة مركزية *(Central processing unit)* والتى يرمز لها بالرموز *CPU* .

فإذا تضمنت الشريحة نفسها على كل من الذاكرة والدوائر المنطقية *(Logic circuits)* فإنها تسمى المعالج الدقيق أو الميكروبروسيسور *(Micro processor)* ، أى تصبح وحدة المعالجة الحاسبة أو الميكروكمبيوتر *(Micro computer)* . وتستهلك الشريحة كمية ضئيلة جداً من الطاقة وهى عموماً منخفضة التكاليف ، وأمكن حالياً الوصول الى معالجة ما يزيد عن مليون من التعليمات فى الثانية الواحدة . وتستخدم الشرائح فى تشكيلة واسعة من الأجهزة ومن أمثلتها متممات الوقاية المختلفة ، وتحتوى شريحة المعالج الدقيق أو الميكروبروسيسور على جميع الدوائر التى تمكنا من الحصول على الدوال الآتية : التحكم *(Control)* ، الحسابية *(Arithmetic)* ، وحدات منطقية *(Logic)* ، وإذا أضيف للميكروبروسيسور وحدة مدخل *(Input)* ووحدة مخرج *(Output)* أصبح كمبيوتر كامل . ويوضح شكل *(1-10)* المكونات الأساسية للميكروبروسيسور .



شكل (10-1)

وإذا استخدم داخل المتمم سمى مينى كمبيوتر *(Mini computer)* ، بينما عند إستخدامه للتحكم وتشغيل ومعالجة جميع متممات الوقاية بمحطة ما فإنه يسمى كمبيوتر المحطة المركزى *(Central substation computer)* .

مميزات المتممات الرقمية

1) المرونة *Flexibility* :

يمكن إستخدام الكيان المادى ، المكونات المادية ، *(Hardware)* الخاص ببعض الأغراض العامة للحصول على دوال متعددة للوقاية وذلك بتغيير البرنامج المخزون فقط .

2) القدرة على التكيف *Adaptive Capability* :

يعتمد تغيير سلوك المعالج *(Processor)* آلياً على الأجواء المحيطة الخارجية والتى تتغير مع الزمن . ويمكن أن يكون هذا التغير ببيانات موضعية للمعالج أو يتم التغيير عن طريق إضافة خارجية مثل إتصال البيانات *(Data link)* أو نظام الحاسب الآلى المركزى *(Central computer system)* .

3) المقدرة على الحسابات *Mathematical Capabilities* :

فى دوائر متممات الوقاية الكهرومغناطيسية والاستاتيكية يضطر المصمم أحياناً إلى وضع قيود للحصول على الخاصية المطلوبة . أما فى دوائر المتممات الرقمية فإن المبرمج *(Programmer)* يكون له الحرية الكاملة لوضع أية خصائص فى حدود معرفته .

4) المقدرة على الفحص الذاتى *Self-Checking ability* :

فى متممات الوقاية التقليدية يلزم عمل إختيارات دورية للتأكد من سلامة مكونات المتمم ومقدرته على التصرف السليم وقت العطل .

فإذا إعتبرنا المتممات الرقمية معدة ديناميكية فإن المتمم يكون مجهزاً بلمبات بيان أو وسيلة رقمية تحدد المكونات المادية *(Hardware)* ، لحظة حدوث العطل به ، وذلك عن طريق معالج توقف *(Processor stop)* . ويمكن إختبار عمل المكونات المادية والذاكرة ومعايرة المحول النظيرى / الرقمى عن طريق تنفيذ برامج خاصة خلال فترات عدم وجود أعطال بالنظام .

5) عبء صغير القيمة *Low Burden* :

تحتاج متممات الوقاية الكهرومغناطيسية لقيمة عبء مرتفعة وعلى العكس فإن الميكروبروسيسور يحتاج إلى عبء صغير جداً . ويستخدم محول تيار ذى ثغرة هوائية للتغلب على حالة التشبع ، حيث يمتاز بأنه يحد من قيمة المخرج مهما زادت قيمة المدخل لمحول التيار .

6) لا يحتاج لأى أعمال صيانة .

7) أقل حجماً من المتممات التقليدية .

٨) سهولة تغيير أى شريحة *(ICs)* من مكونات المتمم .

المكونات الرئيسية للمتممات الرقمية

يتكون المتمم من الدوائر الأساسية الموضحة بشكل *(10-2)* ، وفيها تغذى المداخل ، من الملفات الثانوية لمحولات التيار ومحولات الجهد ، على نظام مدخل نظيرى *(Analogue input system)* ، وتحول هذه المداخل الى عينات متتابعة *(Sampled*

sequentially) عند فترات زمنية منتظمة ، تكون عادة بين *4* إلى *32* عينة لكل دورة موجة مترددة ، ثم تحول الى الشكل الرقمى *(Digital form)* وبعدها تنتقل الى المعالج الرقمى *(Digital processor)* . ويعمل هذا المعالج على تأكيد صحة البيانات وتخزينها وتنظيمها ثم يأخذ القرار بإعطاء أمر فصل لقاطع التيار من خلال عنصر الفصل ، كما يغذى المعالج دائرة مخرج للبيانات والتحكم *(Control and data output)*

ويمكن تقسيم المتمم الرقمى إلى وحدتين أساسيتين هما :

* وحدة القياس الفرعية *Measurment sub-unit*

وهى عبارة عن نظام المدخل النظيرى ومحول نظيرى / رقمى *(A/D converter)*

* وحدة التقييم الفرعية *Evaluation sub-unit*

وهى عبارة عن المعالج الرقمى وعنصر المخرج ودوائر مخرج البيانات والتحكم

ويوجد تصنيفان رئيسيان مستخدمان فى الميكروكمبيوتر للوحدتين الفرعيتين هما:

- نبائط موس *"Mos" devices* :

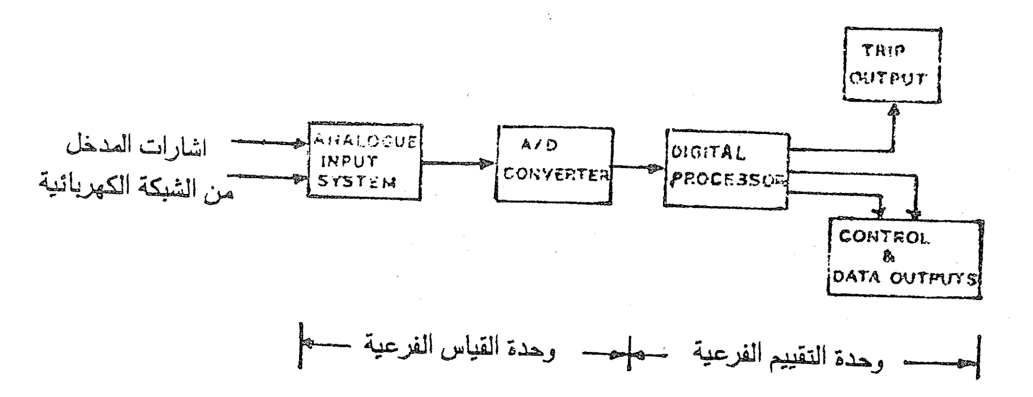
وتمتاز نبائط موس *(Metal Oxide Silicon)* بالسرعة البطيئة والمقدرة الكبيرة على التخزين .

- نبائط سكوتكى ثنائية القطب ذات رقائق فردية *(Bit slice bi-polar : Schottky devices)*

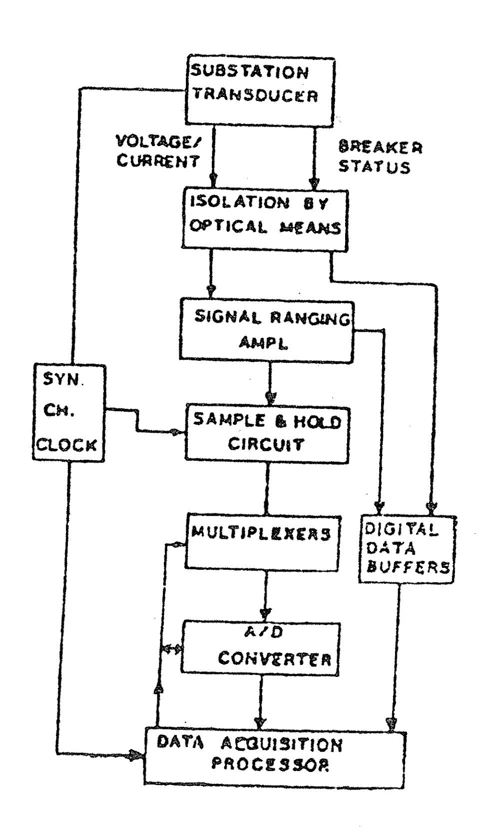
والتى تمتاز بالسرعة الكبيرة ولكن المقدرة الأقل على التخزين .

1) وحدة القياس الفرعية :

يوضح شكل *(10-3)* المكونات الأساسية لوحدة القياس الفرعية ، حيث أن عملها هو إكتساب البيانات وعمليات العزل وإثبات صحة البيانات وتحويلها إلى الشكل الرقمى ثم تخزينها . وتغذى الوحدة بمداخل الثلاثة أوجه للتيار وجهد النظام بالإضافة إلى حالة وضع قاطع التيار ، وتعزل هذه المداخل بعناية عن المكونات الداخلية للمتمم منعاً لإنهيارها نتيجة أية عوامل قد تؤدى إلى إرتفاع طفيف جداً فى الجهد . وفيما يلى نبذة عن كل مكون فى وحدة القياس الفرعية :



شكل (10-2) المكونات الرئيسية للمتممات الرقمية



شكل (10-3) وحدة القياس الفرعية

أ) الفصل بواسطة الطريقة البصرية *Isolation by Optical Method*

توجد طرق متعددة للفصل بين إشارات المدخل والدوائر الداخلية للمتمم ، ومن الطرق الشائعة إستخدام الطريقة البصرية ، والموضحة بشكل *(10-4)* ، وهى عبارة عن ديود إنبعاث ضوئى *(Light emitting diode)* ، والذى يرمز له بالرموز *LED* ، وكاشف ضوئى *(Photo detector)* ، بينهما وسط شفاف *(Transparent medium)* عبارة عن طبقة رقيقة مثل النبائط المتكاملة ، وبذلك يصبح لدينا عزلاً بين المدخل والمخرج حوالى *1500* ڤولت ،ويمكن زيادة العزل بإستخدام أطوال متعددة من أنابيب الضوء الشفاف *(Transparent light pipe)* كما يمكن إستخدام كابلات الأنابيب الضوئية متعددة القلوب *(Multi-core light pipe cables)* ويمتاز هذا النوع بأن إشارة النقل تكون ذات جاذبية عالية بدون أى ربط سعوى أو حثى .

ب) مكبر إشارة المدى *Single Ranging Amplifier*

على الرغم من أن إشارات المدخل المأخوذة من محولات الطاقة *(Transducers)* معزولة ، إلا أنها عند حدوث عطل تكون معرضة لقيم تيارات بداية تتغير فى مدى واسع يتراوح من قيمة صغيرة جداً من الحمل ، وحتى حوالى *20* إلى *25* مرة من قيمة التيار الكلى ونظراً لأن الجزء النظيرى *(Analogue)* يتحدد بإشارات تشغيل (مثلاً± 10 ڤولت) فإن بيانات المدخل تحدد لمنع : إما النسبة بين الإشارة إلى الضوضاء *(Signal/noise)* من أن تصبح غير مقبولة عند إشارات صغيرة ، أو عند القيمة الأخرى لمدى التشبع لإشارات مدخل كبيرة جداً ، وتعالج هذه المشكلة بإستخدام مكبرات متعددة المدى *(Multi-amplifier range)* ، كما هو موضح بشكل *(10-5)* . ويتم التحكم فى ذلك عن طريق وحدة تحكم ، والموضح فكرة عملها فى الشكل *(10-6)* فإذا كان جهد المدخل أكبر من أقصى جهد V_{max} فيتم تقليل الكسب *(Gain)* ، أما إذا كان أقل من V_{max} فيحدث تكبير للكسب . ويلاحظ أن التكبير يتم للأس *(2)* .

ج) دائرة الإحتجاز المتعددة *MultiPlexers with Hold Circuit*

قد يحتاج لعدد كبير من المداخل ، حسب الحاجة يمكن أن تكون هذه المداخل لحظية ومجمعة أى نحتاج إلى تخزينها ثم تحويلها إلى مداخل رقمية . وللحصول على ذلك يستخدم إما محول نظيرى / رقمى لكل مدخل أو يستخدم محول

نظيرى/رقمى متعدد لكل المداخل وكلا الحالتين مرفوض اقتصادياً . ويفضل إستخدام دائرة الإحتجاز المتعددة والموضحة شكل *(10-7)* .

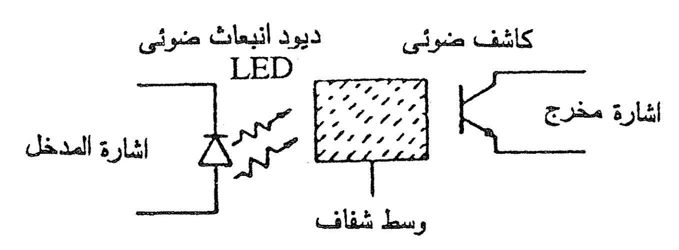
وفكرة تشغيل الدائرة كالآتى : توصل الإشارة من مخرج مكبر مصد إشارة المدخل *(Input signal buffer amplifier)* إلى مكثف إحتجاز من خلال مفتاح نظيرى *(Analog switch)* ، وعلى ذلك فإن جهد المدخل يشحن المكثف وعندما يفتح المفتاح فإن الشحنة تظل على المكثف لتجهيز المخرج وحتى يمكن منع التفريغ يستخدم مكبر مصد ذو معاوقة مدخل كبيرة وتكون خصائص الدائرة كالآتى : زمن الإحتجاز - الدقة - المدى - زمن الإكتساب - الإنحدار - ..... ويجب أن يكون زمن الإحتجاز *(Hold time)* كبير مع إنحدار صغير *(Droop)* . وبإستخدام مكثف كبير فإن ثابت زمن الشحن *(Charging time constant)* يكون كبيراً وهذا يساعد فى الحصول على زمن اكتساب طويل ، وتكون بيانات دائرة إحتجاز العينات كالآتى :

* حدود المدخل / المخرج = ± 10 ڤولت .
* معدل الإنحدار = 5 مللى ڤولت / مللى ثانية .
* زمن الإكتساب = 1 ميكروثانية .
* نسبة خطأ إحتجاز العينة = 0.01%

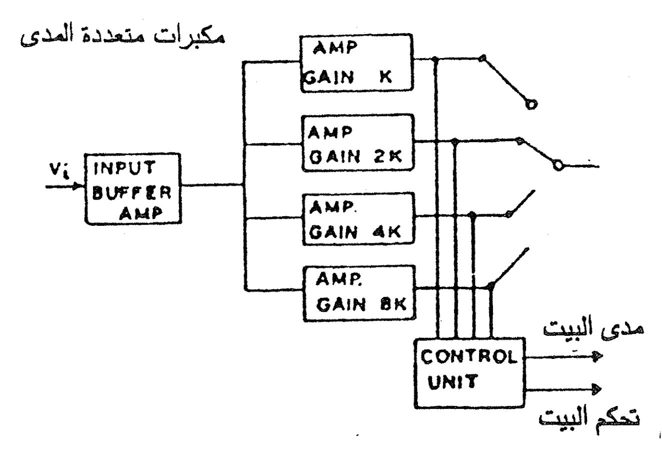
ويعرف زمن الإحتجاز *(Holding time)*بأنه الزمن الذى تعمل فيه قناة الإتصال لحجز إشارة واحدة . بينما يعرف زمن الإكتساب *(Acquistion time)* بأنه زمن وصول المعلومة (إشارة المدخل) إلى وحدة المعالجة المركزية *(CPU)* وخروجها منه .

د) محول تمثيلى / رقمى *Analogue / Digital Convertor*

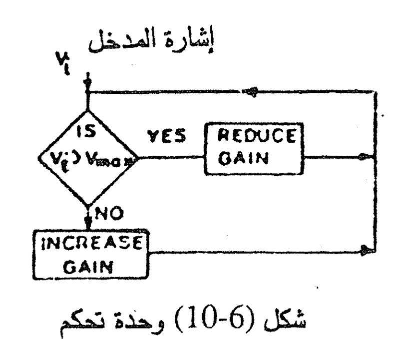
إن إختيار هذا المحول هام جداً . حيث أنه لجهد مدخل معين يكون تحليل المحول عن طريق طول كلمة المخرج *(Output word length)* . فمثلاً لمحول يحتوى على 10 بت *(10 Bit)* يستخدم نظام مكمل الإثنين *(Twe's complement)* لحدود مدخل $\pm 10V$ ، أى يستخدم بت واحدة *(Single bit)* للإشارة وتسعة بت لتحليل المدخل $10V$. وتمثل البت ذات الدلالة المعنوية الأقل *(L.B.S)* للبيانات بالقيمة $20mV$ أو 0.5% من المدخل . ويكون خطأ الكمية ± 0.5 *L.B.S* وهذا يعطى دقة أعلى 0.25% والتى تكون مقبولة لأغلب التطبيقات . عموماً كلما كانت طول الكلمة *(Word length)* أكبر كلما كانت الدقة أعلى ، والزمن أطول ، فمثلاً كلمة بطول 10 بت



شكل (10-4) الطريقة البصرية



شكل (10-5) مكبرات متعددة المدى



شكل (10-6) وحدة تحكم

معاوقة مدخل عالية

اشارة المدخل

المخرج

INPUT SIGNAL BUFFER AMPLIFIER

ANALOG SWITCH

BUFFER AMPL.

STORAGE CAPACITOR

اشارة تحكم

شكل (10-7) دائرة احتجاز متعددة

(10 bit) يكون الزمن *20* ميكروثانية بينما يكون *30* ميكروثانية لكلمة بطول *12* بت *(12 bit)* . ويستخدم ، عموماً ، بتوسع محول ثمانية بت ويكون له دقة كافية وتستخدم البت للإشارة وسبعة بت للبيانات . فمثلاً لمدخل $\pm 10V$ تستخدم سبعة بت للبيانات ، يكون:

$$L.S.B = \pm 80\ mV$$

$$\pm 0.5\ L.S.B = \pm 40\ mV = 0.4\%$$

هـ) وحدة المؤقت المتزامن *The Synchronised Clock unit* :

وهو دائرة ترسل إشارات على ترددات دقيقة لجدولة عمليات الكمبيوتر ، وتتضمن كل عملية عدداً محدداً من الإشارات ، ومن ثم تستطيع وحدة التحكم بدء العمليات المناسبة فى الفترات الزمنية الصحيحة .

و) معالج اكتساب البيانات *Data Acquisition Processor* :

وهذا المعالج عبارة عن نبائط موس *(Mos devices)* ، وله مدة دورة *(Cycletime)* وهى الفترة الزمنية المنقضية بين عمليتى قراءة أو كتابة متتاليتين فى الذاكرة الرئيسية - حوالى *10* ميكروثانية . وتحتوى الذاكرة على *10* كيلو بيت *(Byte)* وتتغير طول الكلمة من *4* إلى *16* بت *(Bit)* حسب الرغبة .

ويكون العمل الرئيسى للمعالج هو جمع بيانات النظام ومعالجتها ثم تغذية وحدة التقييم الفرعية *(Evaluation sub-unit)* .

2) **وحدة التقييم الفرعية** *Evaluation Sub-Unit*

تحل وحدة التقييم الفرعية كل بيان تغذى به بإجراء العمليات الحسابية للبيانات المغذاه للوحدة ، لكشف الأعطال . وتتكون الوحدة من العمليات الحسابية والتى يمكن أن تحتوى على مرشح رقمى *(Digital filtering)* ، وعنصر تحكم وعنصر مخرج . وتتم العمليات الحسابية والمنطقية فى زمن محدد . ويفضل إستخدام ميكروبروسيسور ذات شريحة بت ثنائى القطب *(Bit slice bi-polar micro processor)* للأسباب الآتية :

* سرعة التشغيل :

تتم عمليات التشغيل خلال زمن بين عمليتى تخزين متتاليتين بنافذة عينات . ويكون هذا الزمن حوالى *1* ميكروثانية أو أقل .

* طول البيت (الكلمة) :

إذا كان طول البيت بالمعالج قصيرة مثلاً *4* أو *8* بت *(Bit)* للعمليات الحسابية فيجب التغلب على عدم الدقة . ولكن بإستخدام معالج ذات شريحة بت ثنائى القطب فإنه يمكن إختيار طول البيت من مضاعفات *2* أو *4 (Bits)* .

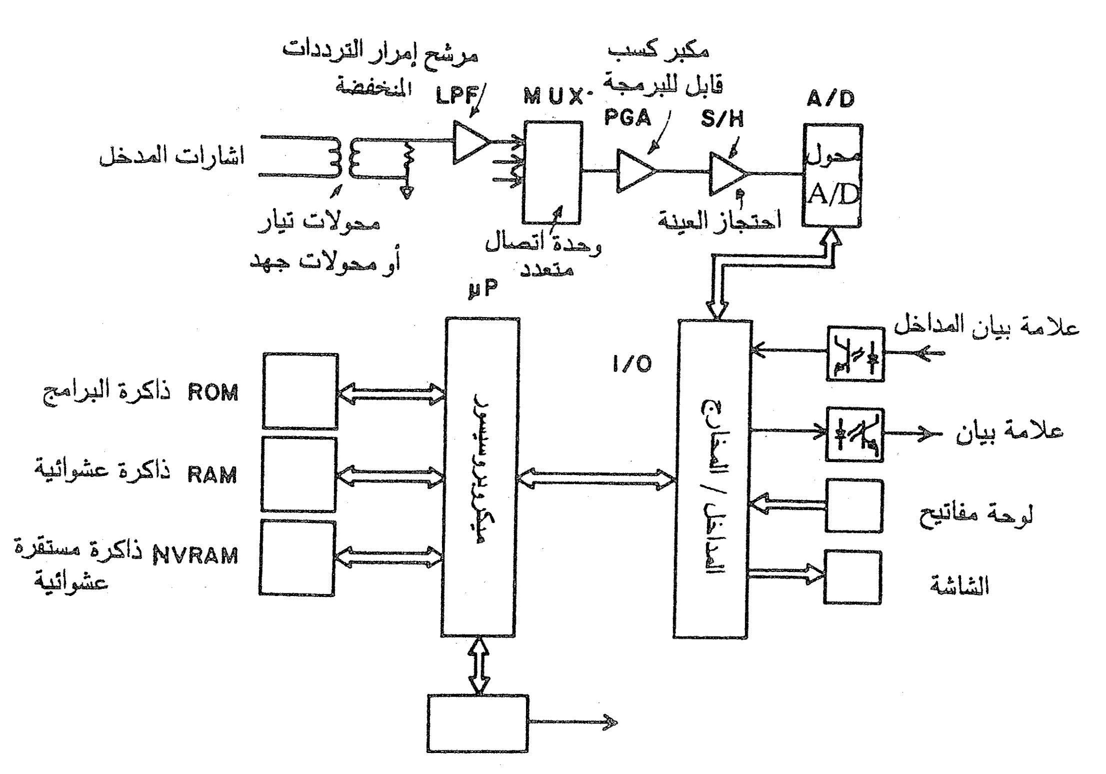
* الكيان المنطقى القادر ، البرمجة ، *Powerful Software*

له كفاءة عالية جداً فى اللغة وذلك لوصف العمليات الحسابية لكشف الأعطال .

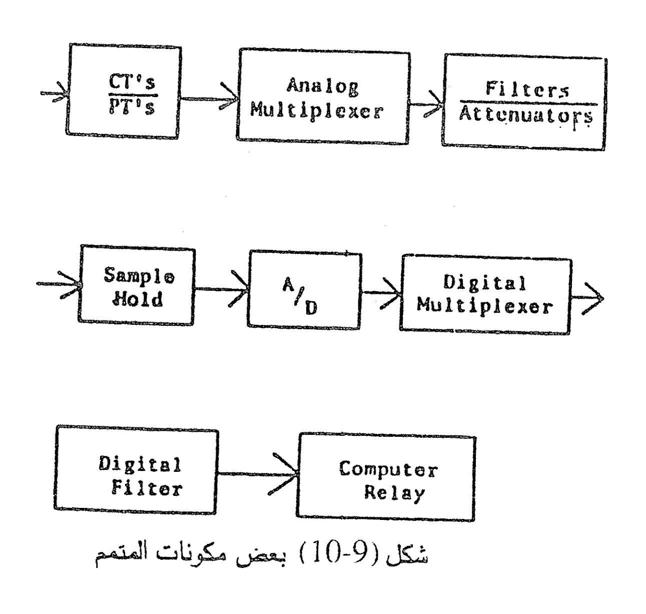
ولتوضيح بعض الدوائر السابقة نستعرض فى شكل *(10-8)* المكونات الكاملة للمتمم الرقمى وهى عبارة عن :

* مرشح إمرار الترددات المنخفضة *(Low pass filter)*
* وحدة الإتصال المتعدد *(Multiplexer)*
* مكبر كسب قابل للبرمجة *(Programmable gain amplifier)*
* الإحتجاز والعينة *(Sample & hold)*
* محول تمثيلى / رقمى *(Analog / Digital convertor)*
* المداخل / المخارج *(Input / output)*
* الميكروبروسيسور *(Microprocessor)*
* ذاكرة البرامج *(Read only memory or Programs memory)* ويرمز لها *(ROM)* وهى تقرأ الأمر وتنفذه .
* ذاكرة عشوائية *(Random access memory)* ويرمز لها *(RAM)* ويتم الحصول على أى موقع مباشرة دون المرور بسلسلة مواقع الخزن السابقة له ، أو يمكن القول بأنها تقرأ أو تكتب فقط ، وأحياناً يرمز لها *RWM (Read / Write memory)* .
* ذاكرة مستقرة عشوائية *(Nonvolatile random access memory)* تحافظ على المعطيات عند حدوث إنقطاع للتيار الكهربى .

وفيما يلى توضيح لهذه المكونات والملخصة فى شكل *(10-9)*



شكل (8-10) مكونات المتمم الرقمى



شكل (9-10) بعض مكونات المتمم

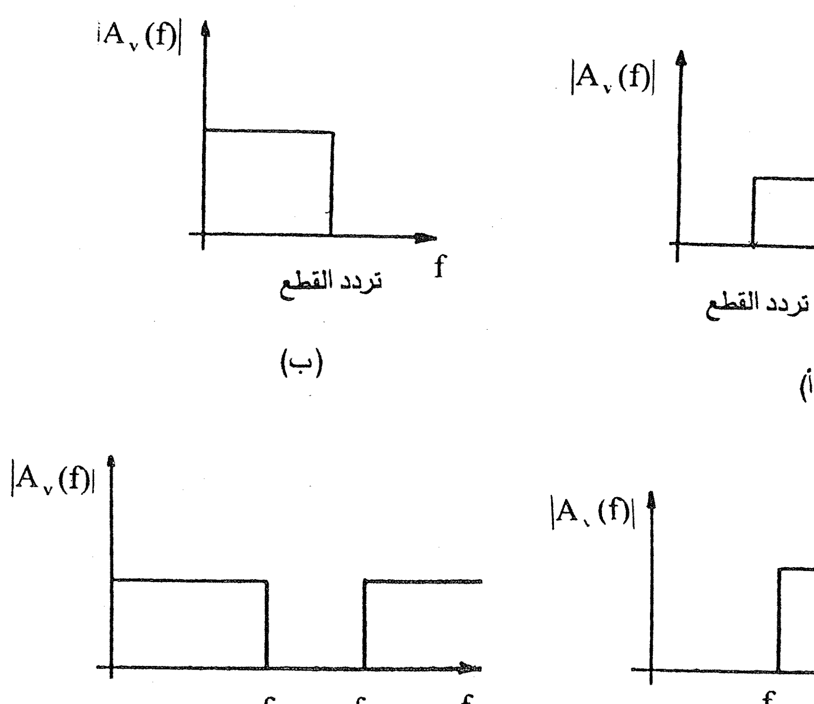
إذ يُغذى المتمم إما من الدوائر الثانوية لمحولات التيار أو محولات الجهد أو الإثنين معاً حسب نوع المتمم ، ويكون التيار الثانوى 5 أمبير أو 1 أمبير بينما يكون الجهد الثانوى 100 أو 110 فولت . وهى قيم قياسية لجميع أنواع متممات الوقاية حيث يتم تخفيض قيم إشارات المداخل إلى قيم معينة تناسب المتمم الرقمى .

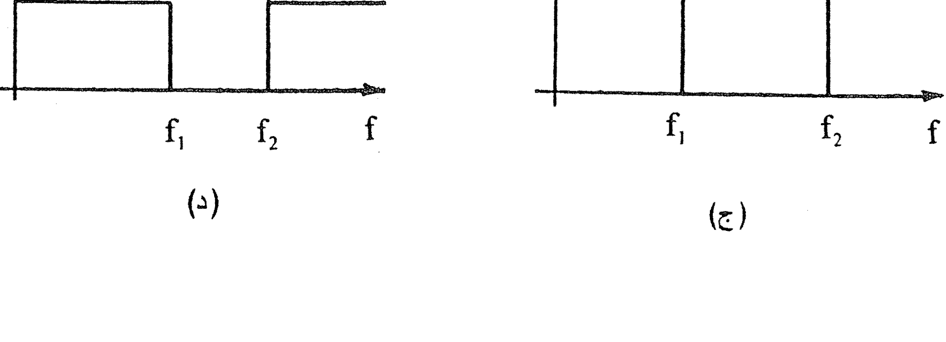
1) المرشح التمثيلى *Analog Filter*

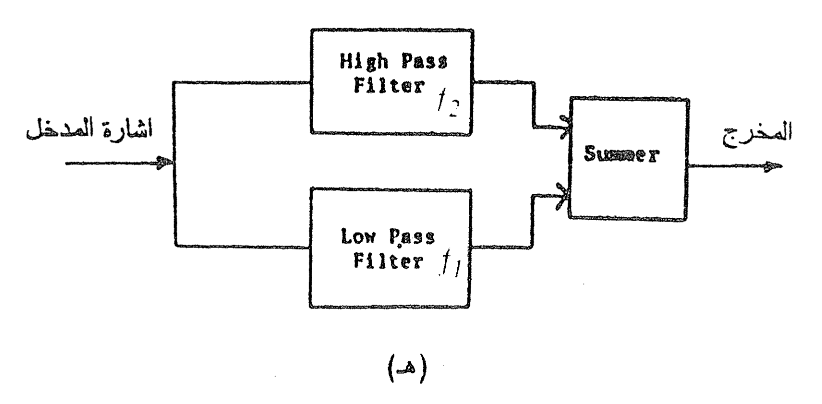
يستخدم المرشح التمثيلى *(Analog Filter)* للبيانات المأخوذة (إشارات المدخل) من محولات التيار أو الجهد ، ويسمح المرشح بمرور ترددات معينة لإشارات المدخل وعدم مرور الترددات الأخرى ، وعموماً يوجد أربعة أنواع من المرشحات هى :

* مرشح إمرار الترددات العاليـة *(High pass filter)*
* مرشح إمرار الترددات المنخفضة *(Low pass filter)*
* مرشح إمرار نطاقى *(Band pass filter)*
* مرشح نبـذ نطاقى *(Band rejection filter)*

يوضح شكل *(10-10)*أ العلاقة بين التردد F والمميز الإنتقائى *(Transfer characteristic)* والذى يرمز له بالرموز / A_v *(f)* / لمرشح إمرار الترددات العالية ، أى يحدث إمرار لجميع الترددات الأعلى من قيمة تردد القطع *(Cut off frequency)* بينما يوضح شكل *(10-10)*ب العلاقة فى حالة مرشح إمرار الترددات المنخفضة ، أى يحدث إمرار لجميع الترددات الأقل من قيمة تردد القطع وبدون أى توهين *(Atteuation)* ، ويحدث التوهين وعدم الإمرار للترددات أعلى من قيمة تردد القطع ، ويمكن الحصول على مرشح إمرار نطاقى أو مرشح نبذ نطاقى بإستخدام تركيبة من مرشح إمرار الترددات العالية ومرشح إمرار الترددات المنخفضة ، وتكون خاصية مرشح الإمرار النطاقى كما فى شكل *(10-10)*ج ، ونحصل عليها بإستخدام مرشح إمرار الترددات العالية لتردد القطع f_1 ومرشح إمرار الترددات المنخفضة لتردد القطع f_2 ، والذى يسمح بمرور الترددات بين f_1 ، f_2 ، وتكون خاصية المرشح الأخير وهو مرشح النبذ النطاقى كما فى شكل *(10-10)*د ونحصل عنها بإستخدام الدائرة فى شكل *(10-10)*هـ ويحدث التوهين فقط عند الترددات فى الحدود f_1 ، f_2.







شكل (10-10) خصائص المرشح التمثيلى

2) وحدة الإتصال المتعدد Multiplexer

إن من أكثر الدوائر شيوعاً فى المتممات الرقمية هى وحدة الإتصال المتعدد *(Multiplexer)* والتى تكون مسئولة عن إختيار إشارة واحدة من إشارات قنوات المداخل *(Input channel)* ونقلها إلى قناة المخرج *(Output channel)* . ويمكن أن تكون وحدة الإتصال المتعددة للمداخل من النوع التمثيلى *(Analog)* وتعرف بوحدة الإتصال المتعدد التمثيلى *(Analog multiplexer)* أو تكون من النوع الرقمى وتعرف بوحدة الإتصال المتعدد الرقمى *(Digital multiplexer)* .

تكون وحدة الإتصال المتعدد التمثيلى عبارة عن مجموعة من المفاتيح التمثيلية *(Analog switches)* يتم التحكم فيها عن طريق قنوات إختيار منطقية *(Logic)* كما فى شكل *(10-11)*أ ويحدث الإختيار كالآتى :

يسلط كود ثنائى *(Binary code)* على وحدة الإتصال المتعدد والتى تحتوى على دوائر منطقية داخلية توصل بين المخارج وقنوات المداخل الخاصة بها .

ويمكن القول أن إشارات قنوات المدخل إما نهاية أحادية *(Single-ended)* ، أى منسوبة إلى نظام مؤرض ، أو فرقية *(Differential)* ، أى تحتاج طرفين . ومن الشائع إستخدام شريحة أحادية لوحدة الإتصال المتعدد التمثيلى *(Single-chip)* والتى تكون مجهزة بعدد *16* قناة مدخل نهاية أحادية أو *8* قناة مدخل فرقية . وتعتمد دقة وحدة الإتصال المتعدد التمثيلى على قيمة معاوقة الحمل *(Load impedance)* الموجودة على أطراف المخرج ، والتى يوصى بأن تكون 10^8 أوم أو أكثر للوصول إلى أقصى دقة . وعلى ذلك تكون معاوقة المدخل للمكبرات التشغيلية أو لدائرة إحتجاز العينات فى حدود من 10^8 إلى 10^{12} أوم .

ويوضح شكل *(10-11)*ب تمثيل لوحدة الإتصال المتعدد النظيرى *(8-1 Mux)* والتى تحتوى على ثمانية مداخل تمثيلى ومخرج تمثيلى واحد وتغذى دائرة مكونة من عنصر إحتجاز عينة *(Sample hold)* ومحول تمثيلى / رقمى والتى تكون مسئولة عن تحويل الثمانية مداخل التمثيلية إلى رقمية . توجد دوائر أخرى تجهز لكل إشارة مدخل تمثيلى عنصر إحتجاز عينة ومحول تمثيلى / رقمى .

وفيما يلى الإصطلاحات المستخدمة لتمثيل وحدة الإتصال المتعدد التمثيلى :

* أطراف الإختيار *Select*

أى إختيار ما إذا كان الجهاز مستعداً لإستقبال المداخل أم لا .

* طرف تمكين *Enable*

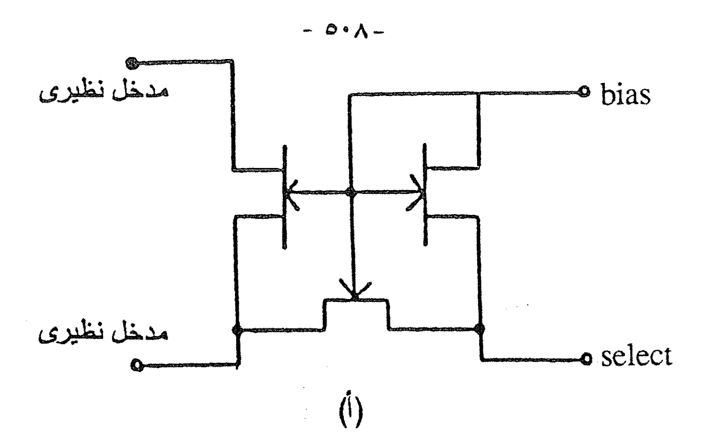
ضبط مفاتيح مختلفة أو إدخال أوامر متعددة للسماح بقبول أنواع معينة من الإنقطاع ، مثل تلك التى تشير إلى أن المداخل جاهزة للإرسال أو الإستقبال .

ويوضح شكل *(10-11)*ج مثال لوحدة الإتصال المتعدد الرقمى والتى تحتوى على قناتى مدخل *(Channel input)* هما *A, B* كل منهما تحتوى على ثلاثة بت *(2-Input, 3-bit multiplexer)* وتحتاج الدوائر المنطقية إلى جهد مرتفع *(High Voltage)* لتشغيلها تكون قيمته *+5V* أو جهد منخفض *(Low voltage)* قيمته *0V* (أحياناً تحتاج الدوائر لجهد مرتفع قيمته*0V* وجهد منخفض قيمته *-5V*) . وفى شكل *(10-11)*ج يحتاج لتوصيل جهد مرتفع على طرف الإختيار *A* ويوصل جهد منخفض على طرف الإختيار *B* والتى تعمل على تحويل مداخل القناة *A* إلى خطوط المخارج الثلاثة لها . بينما وجود الجهد المرتفع على طرف الإختيار *B* ووجود الجهد المنخفض على طرف الإختيار *A* فإن مداخل القناة *B* تعطى خطوط المخارج الثلاثة لها . ومن الناحية التجارية توجد أنواع مختلفة من وحدات الإتصال المتعدد الرقمى أحادية الشريحة حدودها من مدخلين وثمانية بت *(2-Input, 8-bit)* إلى *16* مدخل وبت واحدة *(16--Input, 1-bit)* . ويمكن إستخدام إثنين أو أكثر من وحدات الإتصال على نفس الشريحة كما فى حالة إستخدام أربعة أنصاف من وحدة مدخلين ، وبت واحدة ، *(Quadruple 2-input, 1-bit)* .

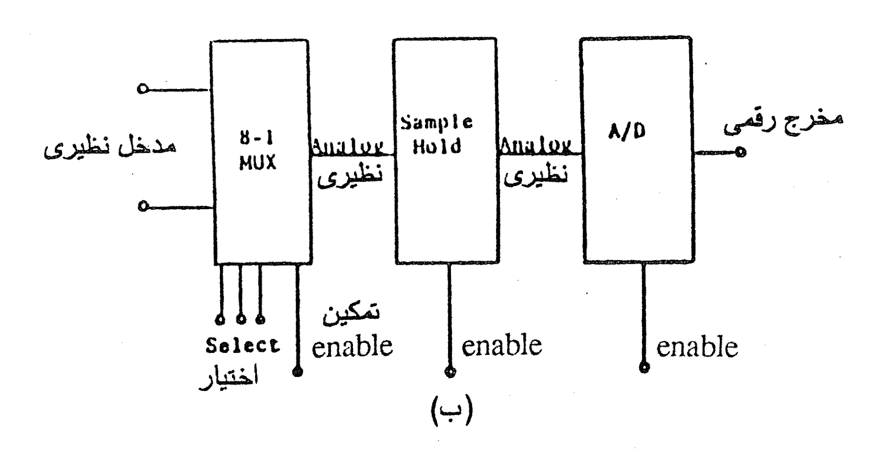
ومن الناحية التجارية يوجد أنواع مختلفة من وحدات الإتصال المتعدد التمثيلى ، من أمثلة ذلك :

* الشريحة *4051*

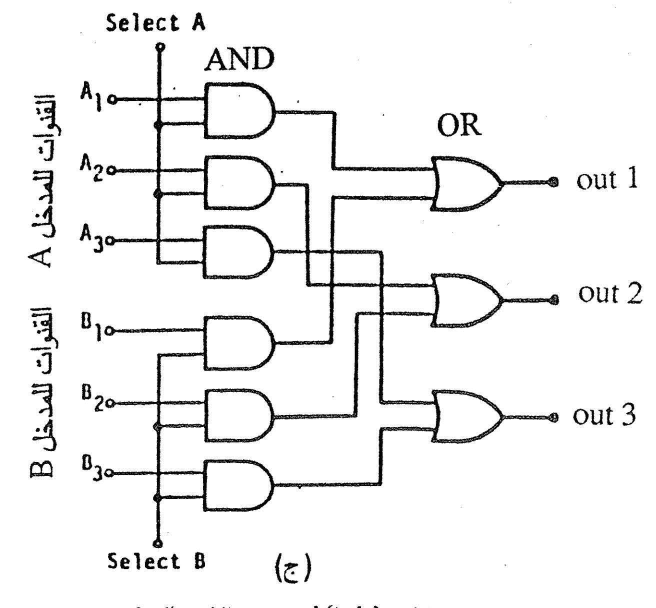
وهى عبارة عن ثمانية مفاتيح نظيرية *(1-of-8 Analog switchs)* ، شكل *(10-12)*أ ، تحتاج لجهد تشغيل حدوده من *3V* إلى *15V* ، ويعرف الطرف رقم *3* بالطرف المشترك المخرج/ المدخل *(Common O/I)* وتعرف الأطراف *1, 2, 4, 5, 12, 13, 14, 15* بالمفاتيح المختارة للمدخل/المخرج *(Selected switches I/O)*



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (١١-١٠) : وحدة الاتصال المتعدد

ويجب ألا تتعدى أى إشارة مدخل قيمة جهد تشغيل الشريحة V_{dd} . وفى حالات التشغيل العادية يوصل الطرف *6* الخاص بمدخل المنع *(Inhibit input)* بالأرضى . وتكون جميع المفاتيح مفتوحة إذا كان مدخل المنع بقيمة عالية ، وتعرف المداخل *9, 10, 11* بمداخل العنوان *(Input address)*

وحسب مدخل العنوان يتم إختيار إشتغال أى من المفاتيح التمثيلية ، وتنقل الإشارة الموجودة على المفتاح المختار (من خلاله) إلى الطرف المشترك . ويوضح شكل *(10-12)*أ الشريحة *4051* ، بينما يوضح شكل *(10-12)*ب وحدة الإتصال المتعدد التمثيلى والتى تحتوى على ثمانية مفاتيح .

* الشريحة *4066*

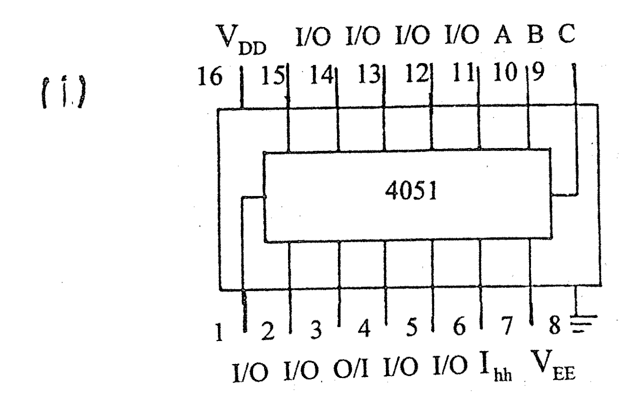
يوضح شكل *(10-12)*ج مكونات الشريحة *4066* ، والتى تتكون من أربعة مفاتيح تمثيلية *A, B, C, D* ، ويتم تشغيل هذه المفاتيح عن طريق أطراف التحكم *A, B, C, D* . فمثلاً إذا سلط جهد التشغيل V_{dd} على طرف التحكم *A* فإن المفتاح *A* سوف يقفل وتنقل الإشارة إلى طرفه الآخر . بينما إذا وصل طرف التحكم *A* بالأرضى فإن المفتاح *A* يفتح . وتكون مقاومة المفتاح فى حالة التوصيل تساوى من *80* إلى *250* أوم ، بينما مقاومة المفتاح فى حالة الفتح حوالى 10^9 أوم . ويطلق على هذه الشريحة بالشريحة ذات أربعة مفاتيح ثنائية *(Quad bilateral switch)* .

ويوضح شكل *(10-13)* إستخدام وحدتى إتصال *(8-1 Mux)* , *(3-1 Mux)* وإتصالهما بميكروبروسيسور من خلال ناقل النظام *(System bus)* وهو الذى ينقل المعطيات (أى إشارات المدخل) بين الوحدات المختلفة بالكمبيوتر ، ويتألف ناقل النظام من ناقل المعطيات *(Data bus)* وناقل العناوين *(Address bus)* وناقل التحكم *(Control bus)* .

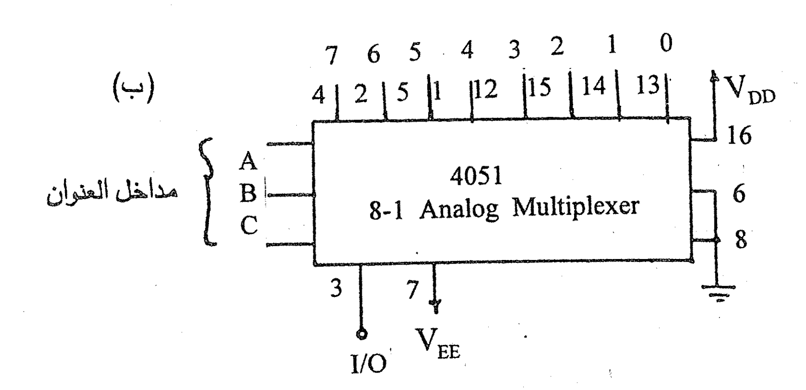
ويكون ناقل المعطيات مسئولاً عن تحويل الكلمات من موقع إلى آخر ، بينما يكون ناقل العناوين مسئولاً عن حمل عنوان معطيات من وحدة المعالجة المركزية إلى الذاكرة الرئيسية أو جهاز التخزين الخارجى وأخيراً فإن ناقل التحكم عبارة عن مسار ترسل عليه إشارات التحكم .

وتحتاج وحدة الإتصال إلى مؤقت *(Clock)* هو عبارة عن دائرة ترسل إشارات

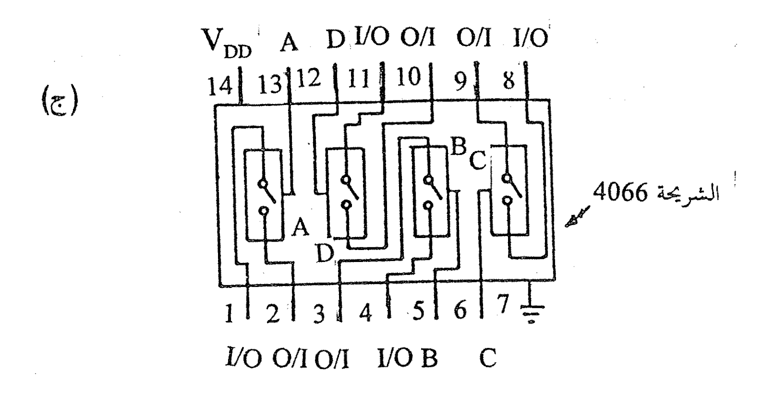
(أ)



(ب)



(ج)



شكل (12-10) أنواع من وحدات الاتصال المتعدد التمثيلى

على ترددات دقيقة لجدولة العمليات ، وتتضمن كل عملية عدداً محدداً من الإشارات، ومن ثم تستطيع وحدة التحكم بدء العمليات المناسبة فى الفترات الزمنية الصحيحة .

ويجب التنويه إلى إرسال البت *(Bits)* التى تمثل رمزاً واحداً عبر عدة خطوط فى آن واحد ، يكون بالتوازى ، لأن الإرسال بالتوازى أسرع من الإرسال بالتوالى لكنه يتطلب خطوطاً إضافية بين مواقع الإرسال والإستقبال . ويوضح شكل *(10-13)* الإرسال بالتوازى للمعطيات بين كل من وحدتى الإتصال *(8-1 Mux)* , *(3-1 Mux)* والميكروبروسيسور .

3) المحول الرقمى / التمثيلى *D/A Converter*

يتم تحويل الإشارة الرقمية إلى الإشارة التمثيلية (جهد او تيار) بطرق متعددة تصنف إلى قسمين :

* إستاتيكى *Static*

حيث تقفل الإشارة الرقمية مجموعة مفاتيح توالى على قاعدة ثابتة (وذلك لإشارة مدخل رقمى ثابت) وذلك للتحكم فى التيارات والجهود .

* تقسيم الزمن *Time division*

يقفل مفتاح بالأساسيات الديناميكية ، عند مقارنة القيمة المتوسطة للتيار أو الجهد خلال الزمن الحقيقى بالقيمة المرغوبة المقابلة .

لكل من الطريقتين عيوبها وميزاتها .

وفمايلى بعض أنواع المحولات الرقمية / التمثيلية ..

3-1) المحول الرقمى/التمثيلى بإستخدام التيار

Current-Switching D/A Converter

تسلط مصادر تيارات على المداخل الرقمية ، بحيث يوصل كل تيار على بت *(Bit)* مدخل . ويوضح شكل *(10-14)* محول رقمى/تمثيلى يحتوى على أربعة بت *(Bit)* توصل مقاومة بمسار تيار الجمع *(Collector)* للترانزستورات من Q_7 إلى Q_{10} . تمر هذه التيارات الى المخرج أو الى أطراف التغذية من خلال دوائر التحكم

المنطقية والترانزستورات من Q_1 إلى Q_4 . أما الغرض من الترانزستور Q_6 فهو تجهيز مستوى المرجع خلال المكبر التشغيلى A_1 والمقاومة R_s وجهد المرجع الخارجى V_{ref} ويخضع تيار المخرج للمعادلة الآتية :

$$I_{out} = D_1 I_{Q10} + D_2 I_{Q9} + D_3 I_{Q8} + D_4 I_{Q7} \quad \text{———>} \ (10\text{-}1)$$

حيث : D_1, D_2, D_3, D_4 تمثل المداخل الرقمية .

$I_{Q7}, I_{Q8}, I_{Q9}, I_{Q10}$ تيارات المجمع بالترانزستورات Q_7, Q_8, Q_9, Q_{10} .

كما يمكن إعادة كتابة المعادلة *(10-1)* بدلالة تيار المرجع ، إلى التيار I_{Q6} كالآتى

$$I_{out} = (D_1 2^3 + D_2 2^2 + D_3 2^1 + D_4 2^0) I_{Q6} \quad \text{———>} \ (10\text{-}2)$$

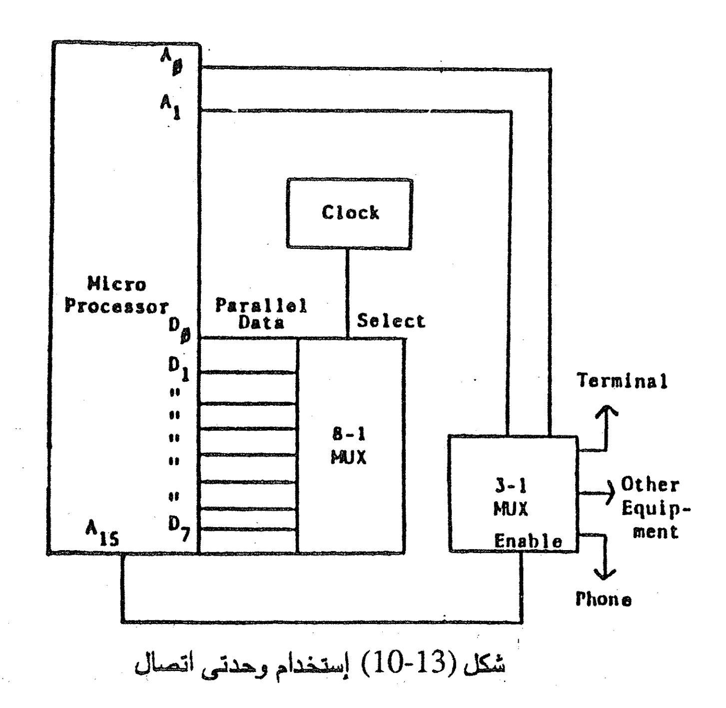
حيث أن من خصائص الدائرة فى شكل *(10-14)* أن العلاقة بين تيارات المجمع بالترانزستورات كالآتى :

$$I_{Q8} = 2 I_{Q7} = 2 * I_{Q6}$$

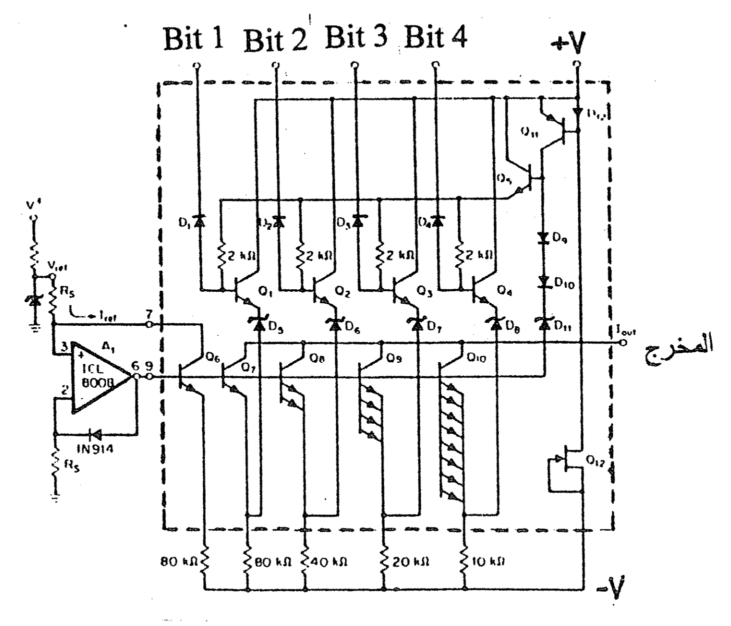
$$I_{Q6} \cong \frac{V_{ref}}{R_s}$$

$$\therefore I_{out} = (D_1 2^3 + D_2 2^2 + D_3 2^1 + D_4 2^0) \frac{V_{ref}}{R_s} \quad \text{———>} \ (10\text{-}3)$$

وتعتمد فكرة الدائرة فى شكل *(10-14)* على أنه فى حالة إنخفاض *(Low)* كل المداخل الرقمية فإن الترانزستورات من Q_1 إلى Q_4 تكون فى حالة فصل *(Cut off)* . إذا حدث وأن إرتفع *(High)* أى مدخل من المداخل الرقمية فإن الترانزستور المقابل لهذا المدخل من الترانزستورات من Q_1 إلى Q_4 فإنه يحول تيار المقارنة من عناصر مصدر التيار خلال الترانزستور Q_5 إلى الجهد V . وبذلك نحصل على تيار مخرج I_{out} يساوى مجموع التيارات المختارة كما فى المعادلة رقم *(10-3)* . ونحصل على أقصى تيار مخرج عندما تكون جميع المداخل الرقمية منخفضة *(Low)* وتساوى $(2^4\text{-}1)\, I_{Q6}$. ويطلق على تيارات مجمع الترانزستور بالتيارات الزوجية الموزونة *(Binary-weighted current)*



شكل (13-10) إستخدام وحدتى اتصال



شكل (14-10) محول رقمى / تمثيلى يحتوى على 4 بت

2-3) المحول الرقمى/التمثيلى بإستخدام مكبرات تشغيلية

يوضح شكل *(10-15)* أ أبسط الطرق المستخدمة للحصول على محول *D/A* بأربعة بت ، ، المداخل الثنائية هى *A, B, C, D* ونحصل على مخرج نظيرى كما فى شكل *(10-14)*ب . ولتحسين المخرج يضاف مكبر تشغيلى آخر الموضح بشكل *(10-15)*ج.

3-3) المحول الرقمى التمثيلى بإستخدام شريحة مفاتيح تمثيلية *4066*

يضح شكل *(10-16)* تمثيل محول *D/A* غير خطى بإستخدام شريحة *4066* (الموضحة بشكل *(10-12)*) ونحصل على جهد مخرج نظيرى فى حدود من *3* إلى *5.6* ڤولت وبإستخدام مصدر تغذية *9* ڤولت - وتسلط المداخل الرقمية على الأطراف *A, B, C, D*

3-4) المحول الرقمى/التمثيلى بإستخدام الجهد

Voltage-Switching D/A Converter

تعتمد فكرة هذا النوع ، والموضحة بشكل *(10-17)*أ على تحويل نقطة تفرع *(Node)* بين جهدى نقطتين تفرع آخرين وتتكون الدائرة من شبكة سلّمية *(Ladder network)* من المقاومات بنظام *R-2R* (لاحظ قيم المقاومات) ونقط تفرع ذات كفاءة عالية من شريحة *MOSFET* . أو يتكون المحول *D/A* من شريحة من النوع *MSI* تحتوى على *8* بت *(MSI-type 8-bit)* (تعنى *MSI* الدوائر المتكاملة ذات مقياس متوسط *(Meduim scale integrating)* ودوائر منطقية ترانزستور - ترانزستور *(Transistor/transistor logic circuit)* ، والتى يرمز لها بالرموز *TTL*) بالإضافة الى الدوائر المتكاملة المتماثلة من النوع *CMOC* *(Complementry symmetry MOS logic)* كذلك شبكة سلّمية بنظام المقاومات *R-2R*

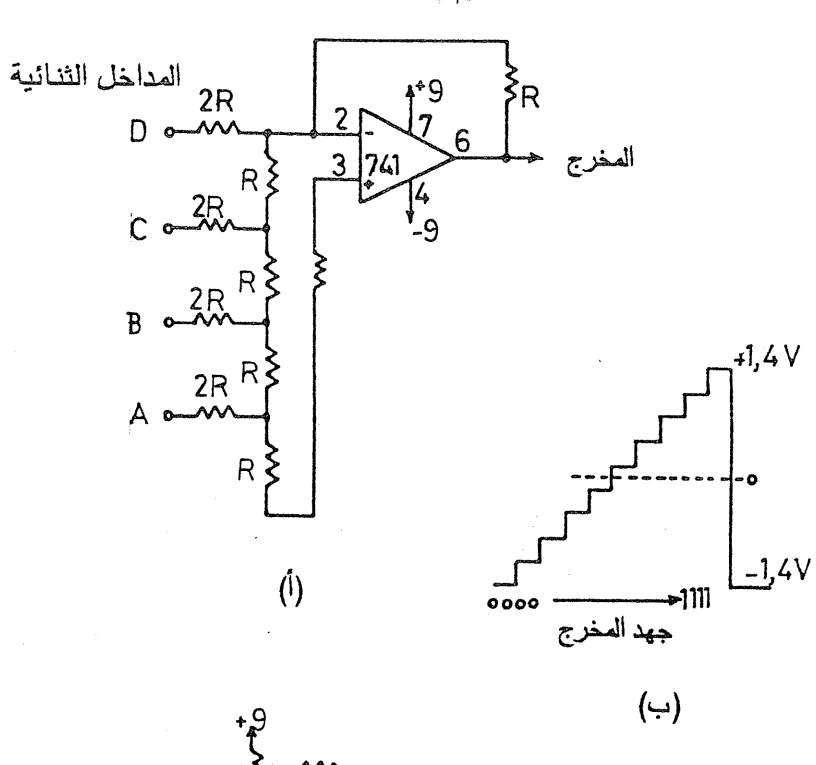
ويوضح شكل *(10-17)* أ محول رقمى/تمثيلى يحتوى عل مكبر مخرج له سرعة عالية ، وجهد مرجع ذو دقة عالية وشبكة سلّمية . ويكون النظام الثنائى *8* بت عبارة عن :

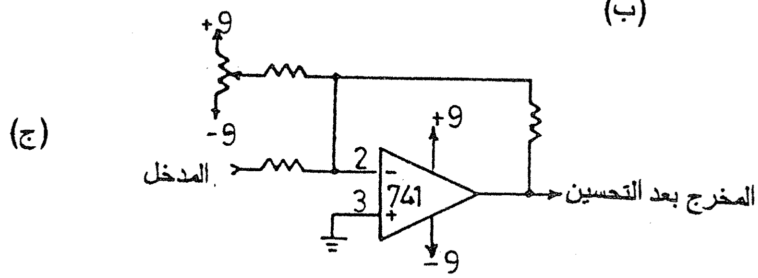
البت الأول يساوى *1*

البت الثانى يساوى *2*

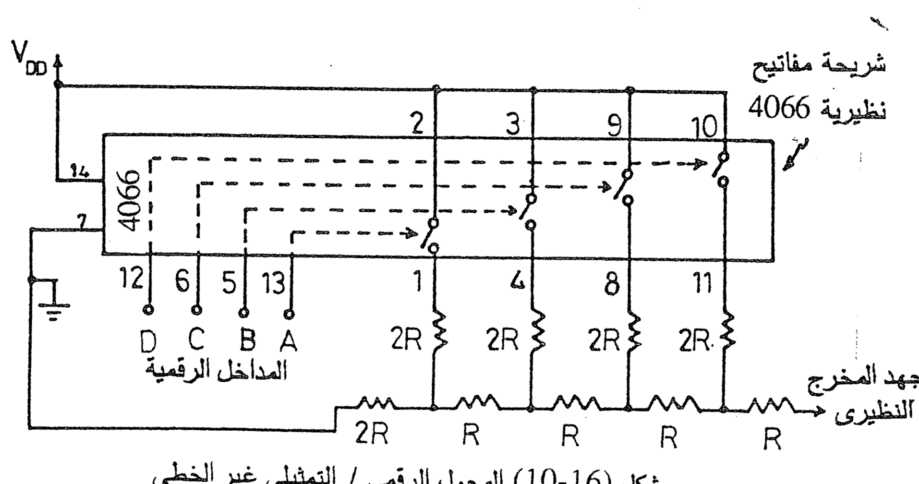
البت الثالث يساوى *4*

....





شكل (10-15) المحول الرقمى / التمثيلى باستخدام مكبرات تشغيلية



شكل (10-16) المحول الرقمى / التمثيلى غير الخطى

أى يكون النظام $128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1$.

وتعتبر الشبكة السلّمية أهم جزء فى المحول D/A ويعتمد تشغيلها أساساً على تساوى التيارات عند كل نقطة إتصال المقاومات (أى النقط A, B, C فى الشكل) أى التيار الداخل للنقطة A مقسم بالتساوى إلى I_1, I_2 والتيار I_2 يقسم عند النقطة B بالتساوى إلى I_3, I_4 ..... أى أن التيار فى أى فرع يساوى نصف التيار فى الفرع السابق له .

فمثلاً ، $I_4 = 0.5\, I_2$ ، $I_6 = 0.5\, I_4 = 0.25\, I_2$ ... ويتشابه هذا مع المتوالية الثنائية ..... $1, 2, 4,$ وتمر هذه التيارات خلال مفاتيح الكترونية *(Electronic switch)* حيث يغذى مجموع هذه التيارات المكبرات التشغيلية والذى نحصل منه على مخرج عبارة عن جهد ، ويعتمد هذا المخرج على قيم الكود الثنائى *(Binary code)* لمدخل 8 بت *(8 bit)* . وعلى قيمةكسب *(Gain)* للمكبر التشغيلى ويكون الجهد المساعد لمصدر التغذية فى حدود 4.5 إلى 16.5 ڤولت ، بينما يمكن أن يكون جهد المخرج إما فى حدود من صفر إلى 2.56 ڤولت أو من صفر إلى 10 ڤولت (يجب أن يكون جهد المخرج أقل من جهد المصدر) .

4) المحول التمثيلى/الرقمى *Analog / Digital Converter*

يمكن الحصول على المحول التمثيلى/الرقمى إما بإستخدام محول الجهد/التردد أو بإستخدام المحول الرقمى/التمثيلى وفيما يلى فكرة عن الطريقتين :

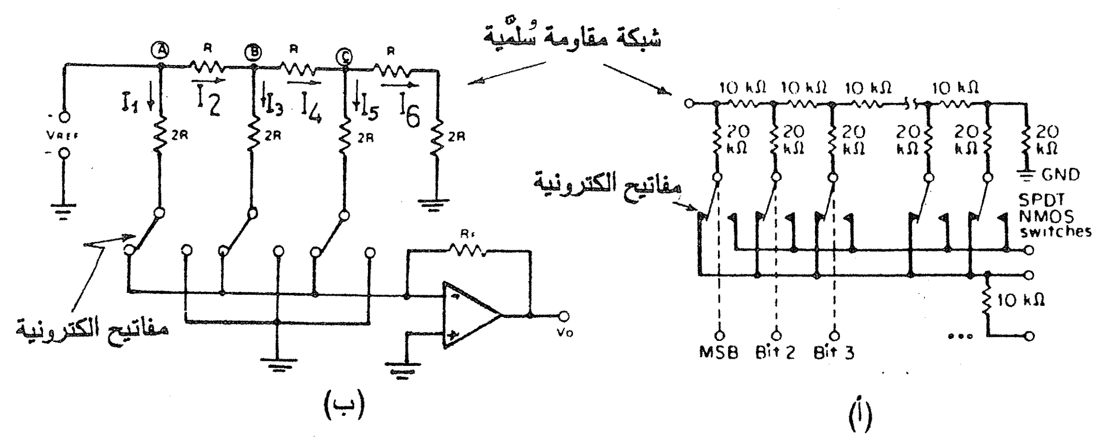
4-1) بإستخدام محول الجهد/التردد *Voltage / Frequency Converter*

يعتمد المحول على العلاقة بين الجهد التمثيلى والتردد الآتية :

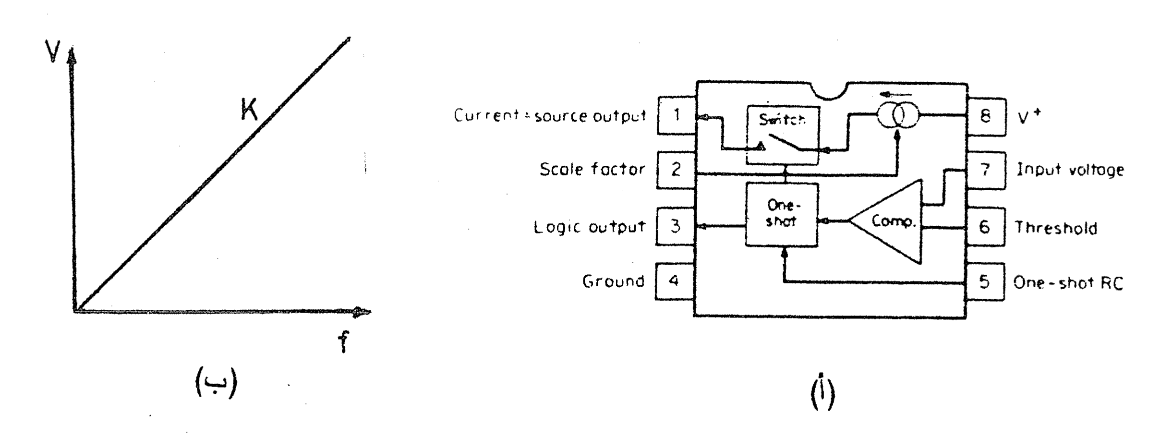
$$F_{out} = K\,V_{in}$$

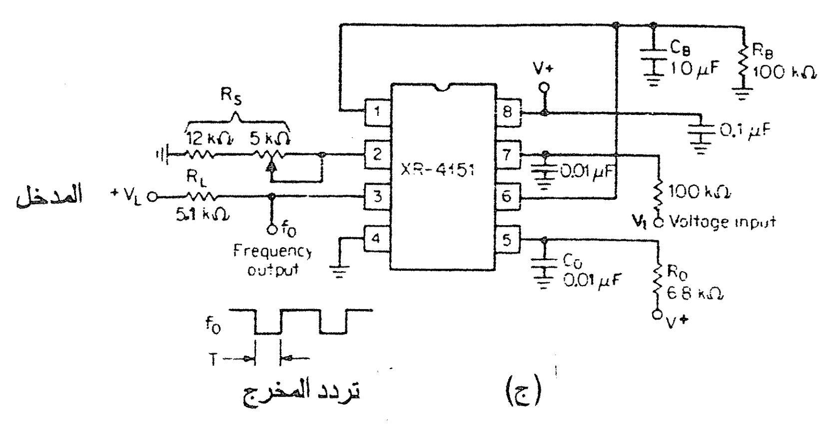
حيث K كسب التحويل *(Conversion gain)* لمحول الجهد/التردد وتكون وحداته هرتز/الڤولت . ويمكن تمثيل المعادلة بخط مستقيم فى الحالة المثالية . وتوجد شرائح متعددة تمثل محول الجهد/التردد ومن أمثلتها الشريحة XR -4151 الموضحة بشكل (10-18) ولها كسب تحويل يعرف من المعادلة الآتية :

$$K = \frac{0.486\, R_s}{R_B\, R_0\, C_0} \quad KHz/V$$



شكل (10-17) لمحول الرقمى / التمثيلى باستخدام الجهد





شكل (10-18) محول الجهد / التردد

ويوضح شكل (10-18) ج الدائرة الكاملة لمحول الجهد/التردد بإستخدام الشريحة XR - 4151 وطريقة توصيل R_S, R_B, R_0, C_0 معها . وتمتاز هذه الدائرة برخص ثمنها وبساطتها . ويكون حدود الجهد النظيرى للمدخل من صفر إلى 10 ڤولت ونحصل على حدود تردد من صفر إلى 10 ك.هرتز . وللحصول على دقة أعلى يضاف مكبر تشغيلى مع الدائرة حيث تزيد خاصية الخطية لها Linearity والتى تكون حوالى 0.05% ، ويوضح ذلك فى شكل (10-19) أ ، كذلك تم إضافة الديود لمنع الجهد على الطرف 7 من الوصول الى قيمة أقل من الصفر . وعن طريق التحكم فى قيمة R_s يمكن ضبط قيمة جهد المدخل وبالتالى الحصول على التردد المطلوب .

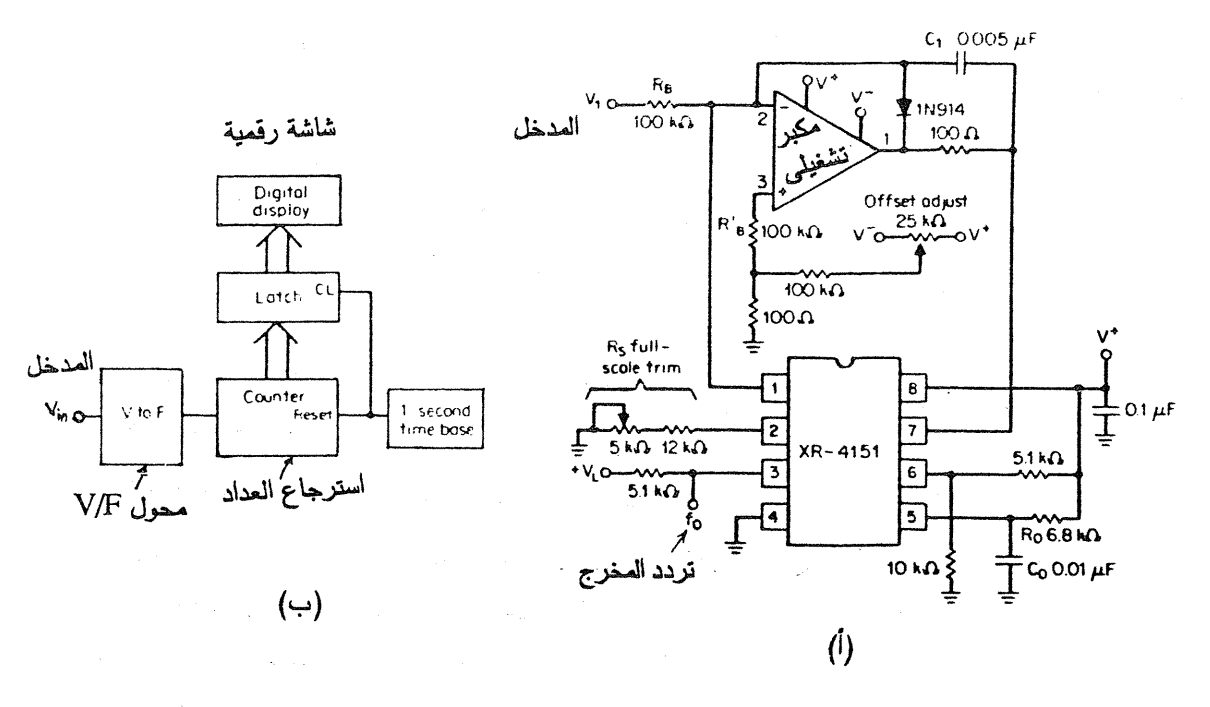
وتستخدم هذه الدائرة للحصول على المحول التمثيلى/الرقمى ، كما فى شكل (10-19) ب والتى نحصل منها على تردد F_0 يتناسب مباشرة مع جهد المدخل التمثيلى Vin ، وتغذى هذا التردد على عداد تردد (Frequency counter) له زمن عينة يساوى 1 ثانية أى أنه نحصل على تردد مخرج كل دورة زمنية تساوى ثانية . تمر على دائرة تثبيت (Latch) والتى تمتاز بالحصول منها على مخرج لحظة تسليط مدخل المؤقت (Clock) وفى غير تزامن (Asyncronously) مع المدخل .

ويوضح شكل (10-20) الدائرة الكاملة لمحول تمثيلى/رقمى بإستخدام محول الجهد/التردد ومكبرات تشغيلية وعداد الترددات .

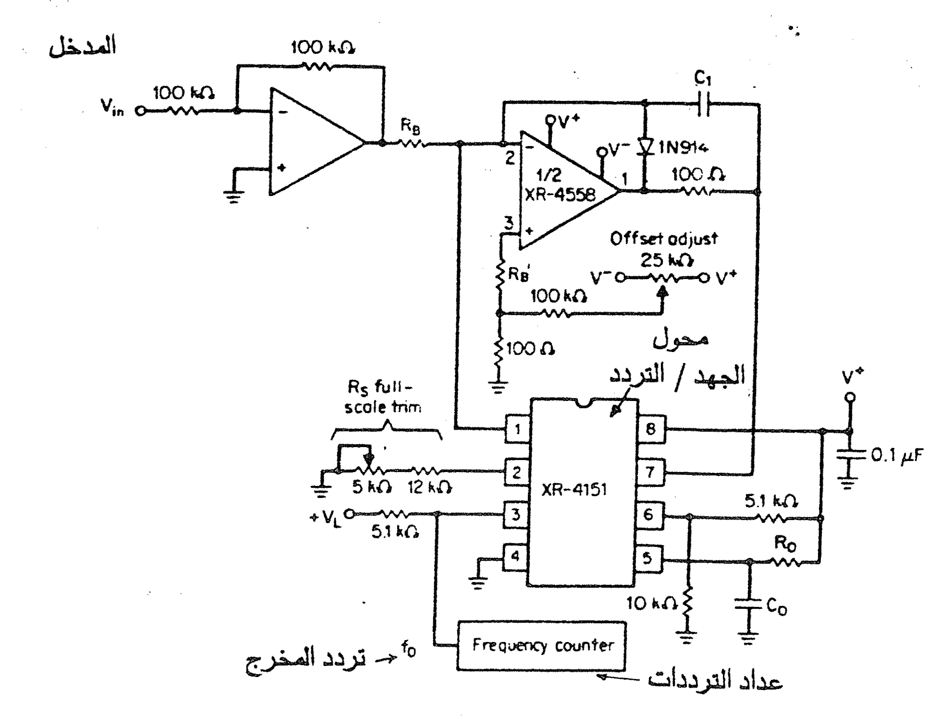
ويوضح شكل شكل (10-21) أ طريقة التمثيل المنطقى لدائرة التثبيت (Latch) ، والتى تتكون ببساطة من دالات NOR , NAND ، كما فى شكل (10-21) ب والذى يوضح أحد أنواع دائرة التثبيت (Latch) والتى تعرف بدائرة النطاط (D flip-flop) ويسلط على المدخل D ، من خلال مفاتيح ، موجه كما فى شكل (10-21) ج ، بينما يوصل المدخل (Clock) إشارة محددة زمنية .... t_1, t_2, t_3 ونحصل على مخرج على طرف Q أو على الطرف $\bar{Q}$ أو المخرجين معاً .

ويلاحظ أنه على الرغم من إنخفاض الزمن فى الدورة t_2 إلا أن المخرج Q إستمر عالى ، كذلك رغم إستمرارية إرتفاع الزمن فى الدورة t_3 إلا أن المخرج Q أخذ شكل بيانات المدخل ...

عموماً تستخدم دائرة التثبيت فى المتممات الرقمية لتوصيل البيانات من خلال الميكروكمبيوتر إلى عنصر المخرج .



شكل (10-19) محول تمثيلى / رقمى



شكل (10-20) دائرة المحول التمثيلى / الرقمى

2-4) بإستخدام المحول الرقمى / التمثيلى

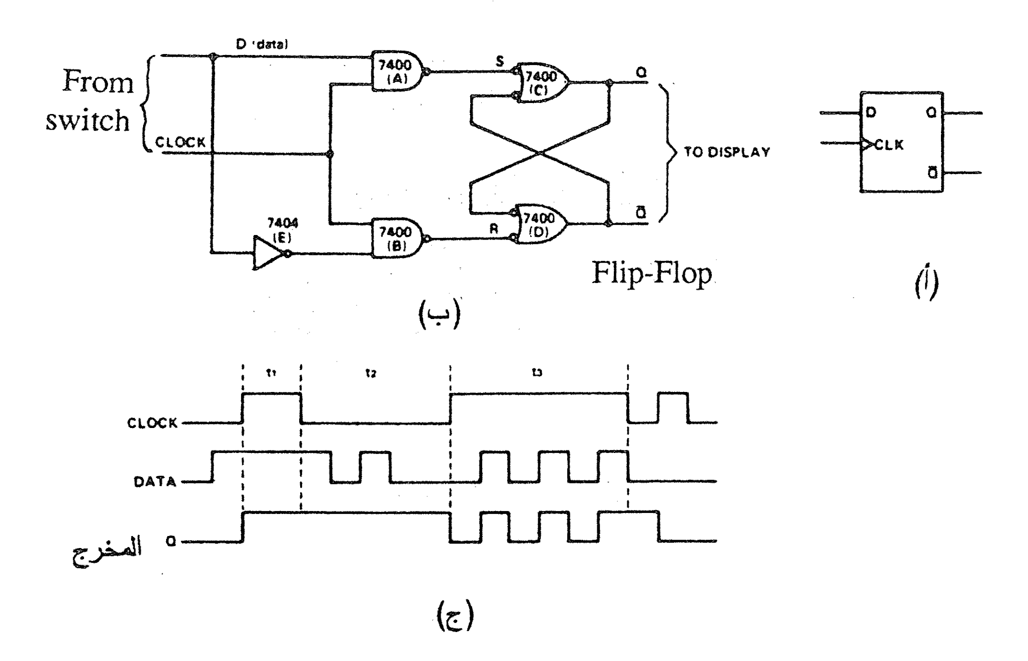
يكون الغرض من المحول النظيرى/الرقمى هو تحويل الكميات الطبيعية مثل الجهد والتيار إلى قيم رقمية ، كما فى شكل *(10-22)* والذى يوضح موجة جهد جيبية تم تقسيمها إلى عينات *(Samples)* على فترات متساوية بقيم محددة بموجة الجهد وتتحول هذه القيم إلى أعداد ثنائية *(Binary number)* ، والنتيجة الحصول على إعداد ثنائية ذات دقة عالية لتعريف نقط التقسيم على موجة المدخل .

يتم إستخدام المحول الرقمى/التمثيلى للحصول على المحول التمثيلى/الرقمى بطرق متعددة منها :

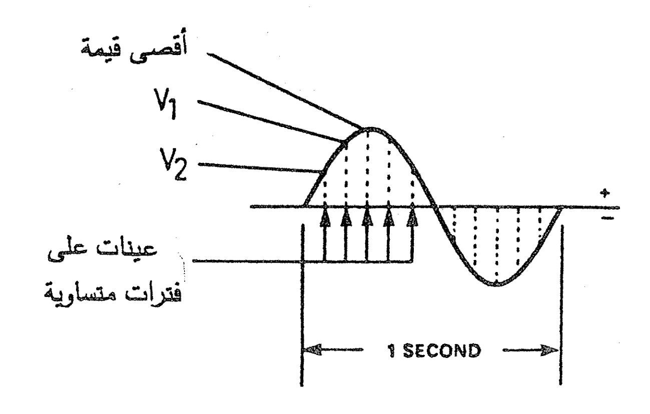
* التقريب المتعاقب *Successive Approximation*

يوضح شكل *(10-23)* العناصر المكونة لهذا المحول ، ويلاحظ أن جميع البت *(Bits)* للتمثيل الرقمى تكون بدايتها أصفار . ويتم عمل مقارنة بين التمثيل الرقمى (عندما تكون معظم البت على الوضع المرتفع *High*) والمدخل التمثيلى وذلك من خلال محول *D/A* ومقارن الجهد . إذا إنتقل التمثيل الرقمى (خلال المحول *D/A*) إلى قيمة أعلى من قيمة المدخل ، فإن البت تصبح فى حالة تفريغ *Clear* (أى تغيير محتويات هذه البت إلى الصفر) وتؤدى هذه العملية إلى أن تصبح البت التالية فى الوضع المرتفع *High* ...... حتى تمر جميع البت *(LSB , MSB)* على عملية المقارنة . وفى النهاية نحصل على التمثيل الرقمى المطلوب .

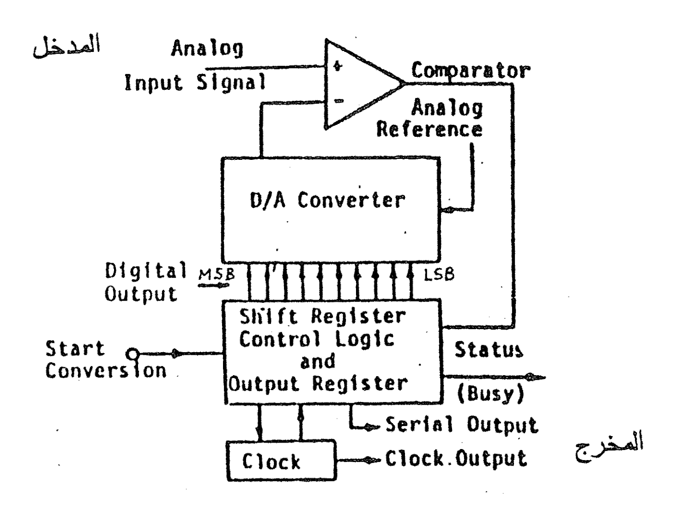
ويوضح شكل *(10-24)* التمثيل الزمنى لتشغيل الدائرة الموضحة بشكل *(10-23)* والذى يوضح إشارات المدخل وهى عبارة عن : المؤقت *(Clock)* ، والبداية *(Start)* ، والبيانات *(Data)* ، بينما يكون مخارج المسجل عبارة عن $Q_0 , Q_1 , Q_2 .... Q_7$. يبدأ مسجل التقريب المتعاقب بقيمة ضبط *MSB* (البت ذات الدلالة المعنوية العليا) بينما تلغى جميع البت الأخرى *(Bits)* ، هذه القيمة تكون نصف الموجة الكلية وبعد مرور دورة زمنية واحدة فإن المقارن يعطى إشارة للمسجل بحالة ما إذا كان المدخل أكبر من أو أقل من هذه القيمة ،وإذا كانت قيمة المدخل أكبر فإن المسجل يحفظ حالة البت *(MSB)* بينما يلغيها إذا كانت أقل . وتتكرر الدورة حتى تصل الى البت *(LSB)* (البت ذات الدلالة المعنوية الأقل) .



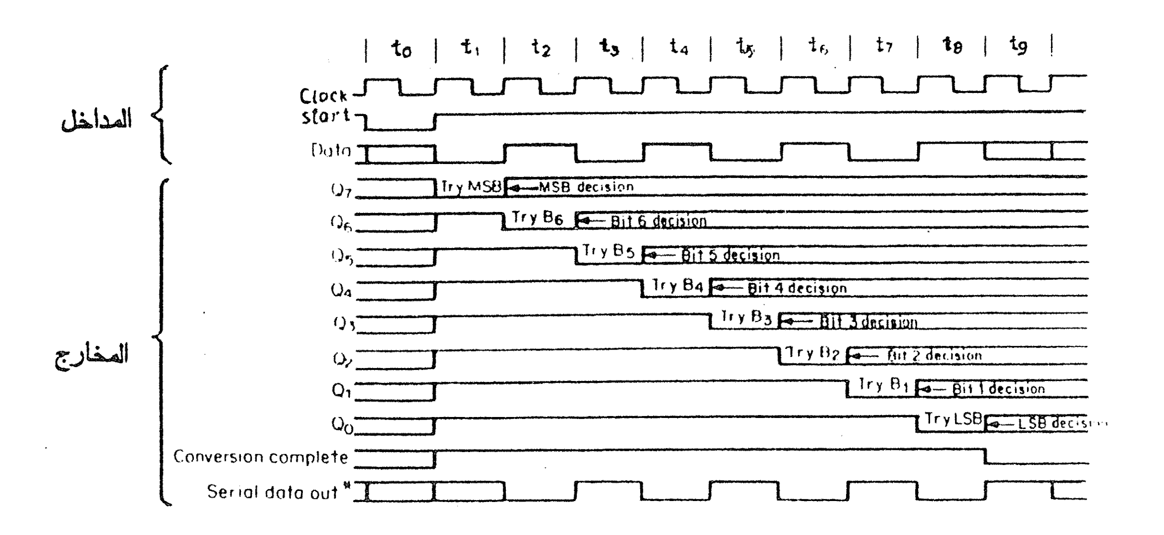
شكل (10-21) طريقة التمثيل المنطقى لدائرة التثبيت



شكل (10-22) موجة جهد جيبية مقسمة إلى عينات



شكل (10-23) التقريب المتعاقب



شكل (10-24) التمثيل الزمنى لتشغيل الدائرة الموضحة بشكل (10-23)

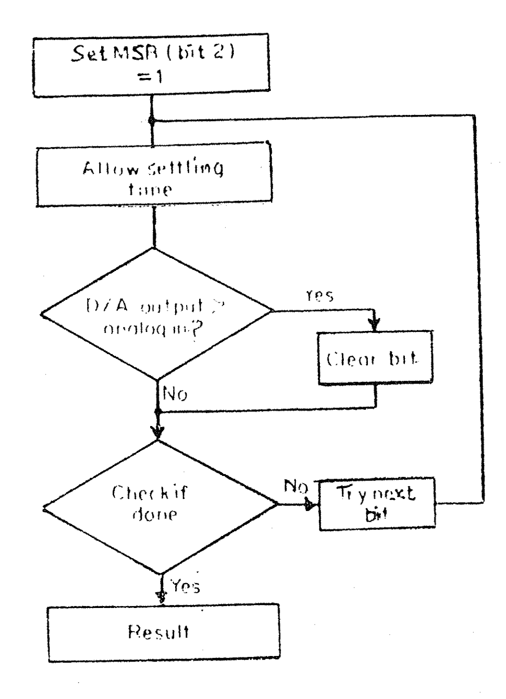
ويوضح شكل *(10-25)* مخطط سير العمليات *(Flowchart)* لهذا المحول . ومن الأنواع شائعة الإستخدام لمحول *A/D* ، الدائرة الموضحة بشكل *(10-26)* وتعرف بالدائرة *256R* ، والتى تتكون من محول *D/A* من نوع الشبكة السلّمية بنظام *(R-2R)* . يتم أولاً مقارنة المدخل التمثيلى بجهد النقطة الوسطى للشبكة السلّمية للمقاومات من خلال المقارن ، إذا كانت V_{in} أكبر من $V_r/2$ فإن نقطة التقسيم من خلال المفاتيح التمثيلية ، تتغير بحيث تقارن V_{in} مع $0.75\ V_r$ ثم تتبع هذه الخطوات : أولا تختبر البت ذات الدلالة المعنوية العليا *(MSB)* وبعد ثمانية مقارنات (دورة المؤقت *64*) يتحول الكود الثنائى ثمانية بت رقمية *(Digital 8-bit binary code)* (والذى يكون عبارة عن *1111 1111*) إلى مخرج التثبيت *(Output latch)* .

5) دائرة العينات والإحتجاز *Sample-and-Hold Circuit*

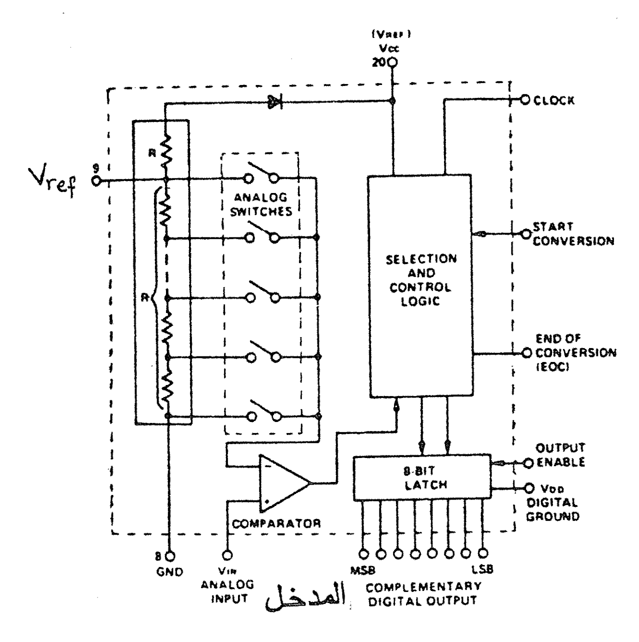
يوضح شكل *(10-27)* أ دائرة عينة/احتجاز تتكون من نصف شريحة مكبر تشغيلى مزدوج *(Dual operational amplifier)* من النوع *LF353N* ، (بمعنى إستخدام مكبر تشغيلى واحد من الدائرة الموضحة بشكل *(10-27)* ب) ومفتاح تمثيلى واحد من الشريحة *4066* (إرجع إلى شكل *(10-12)* ج) ويعتمد تشغيل هذه الدائرة على التحكم فى إشارة المدخل V_{in} عن طريق الطرف *13* بالشريحة *4066* فعندما يكون الطرف *13* عالياً *(High)* نحصل على عينة من موجة المدخل أما عندما يكون الطرف *13* منخفضاً *(Low)* فإن العينة تكون محتجزة على المكثف C_1 ، والذى يعرف بمكثف الإحتجاز *(Hold capacitor)* ، ويمتاز المكبر التشغيلى المزدوج من النوع *LF353N* بكبر معاوقة المدخل (حوالى 10^{12} أوم) وإنخفاض الشوشرة أثناء التشغيل .

ومن الشرائح الأخرى المستخدمة كدائرة عينة/إحتجاز الشريحة *LF198* والموضحة بشكل *(10-28)* ، ويعمل مكبر المدخل لإحتجاز العينة خلال فترة الإحتجاز بمكثف الإحتجاز وبالتالى نحصل على إشارة المدخل محتجزة بمكبر المخرج ، ويتحكم مكبر التحكم فى فتح وقفل المفتاح فإذا كان المفتاح مقفولاً نحصل على عينة من المخرج بينما عندما يفتح المفتاح تحتجز العينة بمكثف الإحتجاز .

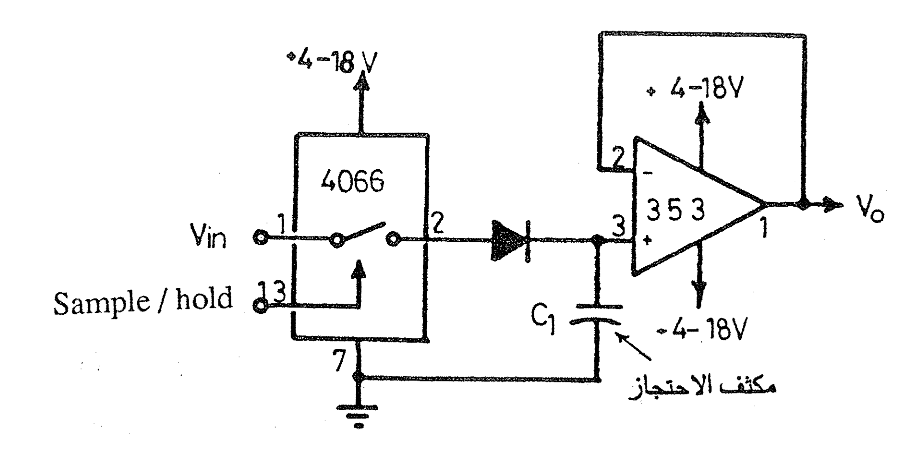
ويوضح شكل *(10-29)* ماذا نعنى بالعينة وإحتجاز العينة لإشارة موجبة جيبية بمعنى آخر ، كيف تتحول إشارة مدخل تمثيلى إلى إشارة رقمية . ويصف شكل *(10-29)* أ الإشارة التمثيلية المراد تحويلها . وتمثل سلسلة النبضات الموضحة



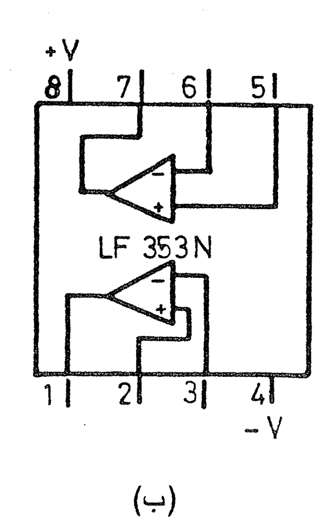
شكل (10-25) مخطط لسير العمليات لمحول التقريب المتعاقب



شكل (10-26) دائرة 256R



(أ)



(ب)

شكل (10-27) دائرة عينة / احتجاز

بشكل (10-29) ب إشتغال سريع لمفتاح يوصل بيانات إكتساب النظام (Data acquisition System) إلى إشارة تمثيلية لفترة زمنية صغيرة جداً ويظل مفتوحاً لباقى الدورة . وينتج عن ذلك الحصول على نبضات بشكل موجة المدخل ، كما فى شكل (10-29) ج ، وبإضافة مكثف إحتجاز يمكن الحصول على إشارة محتجزة ويوضح شكل (10-29) د إشارة نبضات محتجزة .

فى شكل (10-30) تم توضيح الموجات عند أوضاع معينة داخل المتمم الرقمى ، فمثلاً الموجة رقم 1 تمثل موجة بيانات أحد المداخل وهى تقريباً موجة جيبية ، تمر على مرشح ومنه إلى دائرة إحتجاز العينة (SH) وتمثل الموجة 2 مخرج هذه الدائرة ، ثم تمر مخارج دوائر إحتجاز العينات على وحدة الإتصال المتعدد ، والتى تعطى معطيات تمثيلية متوازية كما هو موضح فى التمثيل رقم 3 حيث يحتوى الزمن t_0 على معطيات بعدد n ويحتوى الزمن t_1 على معطيات أخرى بعدد n وهكذا ...

تغذى هذه المعطيات التمثيلية محول A/D والذى نحصل منه على التمثيل رقم 4 وهو عبارة عن عدد n من البيت (Byte) كل منها تحتوى على عدد 16 بت (bit) وممثلة فى زمن t_0 وبذلك يتم تحويل المعطيات التمثيلية إلى نظام العدد الثنائى (Binary) والذى يستعمل فيه الرقمان 0, 1 فقط .

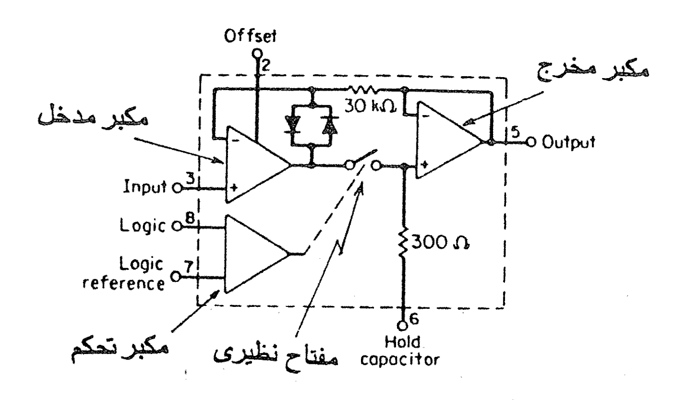
متمم الوقاية ضد زيادة التيار الرقمى :

يوضح شكل (10-31) الشكل العام لنوعين من متممات الوقاية ضد زيادة التيار والذى يوضح الشاشة (Monitor) ، ومفاتيح الشتغيل (Keyboard) ، مقاسات مختلفة من الشرائح (Chip) حسب الغرض منها ، ويلاحظ أن الغلاف الأمام الخارجى للمتمم مرفوع ، ولكن عند تركيبه تظهر فقط الشاشة ومفاتيح التشغيل .

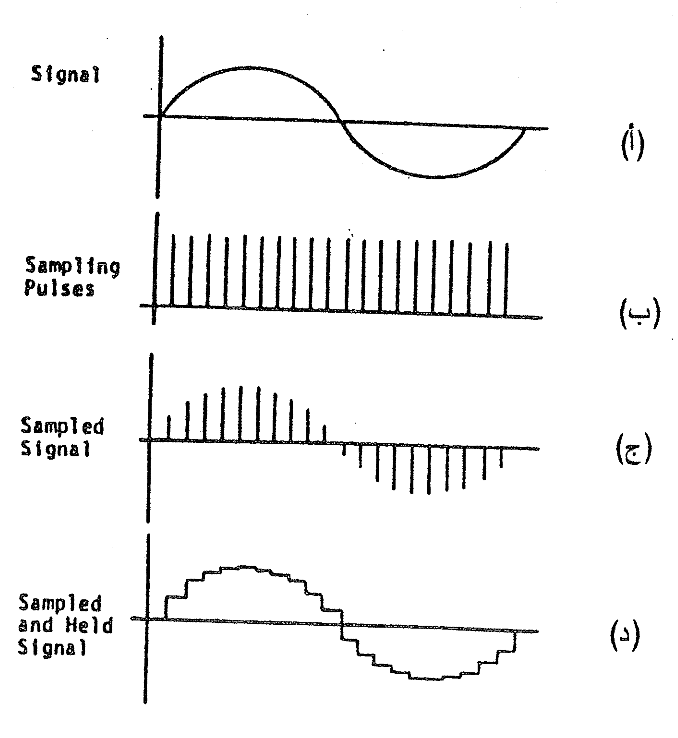
ويوضح شكل (10-32) تمثيل للمكونات الرئيسية لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار الرقمى وفيما يلى فكرة مختصرة عن كل جزء .

أ) معالج إشارات المدخل *Input Signals Processing*

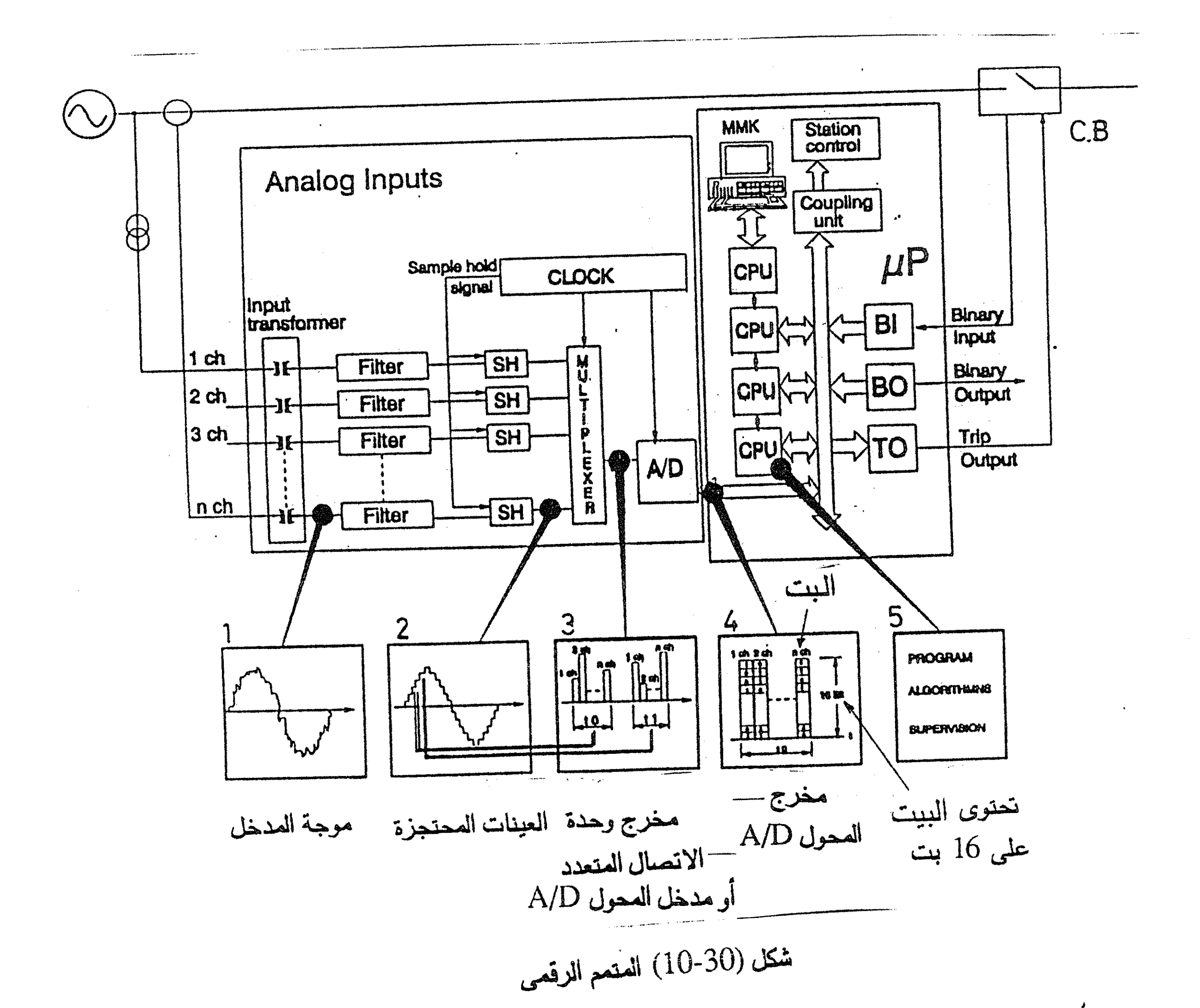
يحول هذا المعالج تيارات المدخل إلى شكل مناسب لتغذية المحول النظيرى/الرقمى . ويتصل هذاالمعالج بإصبع الضبط (Plug setting) . وهذا يتم من



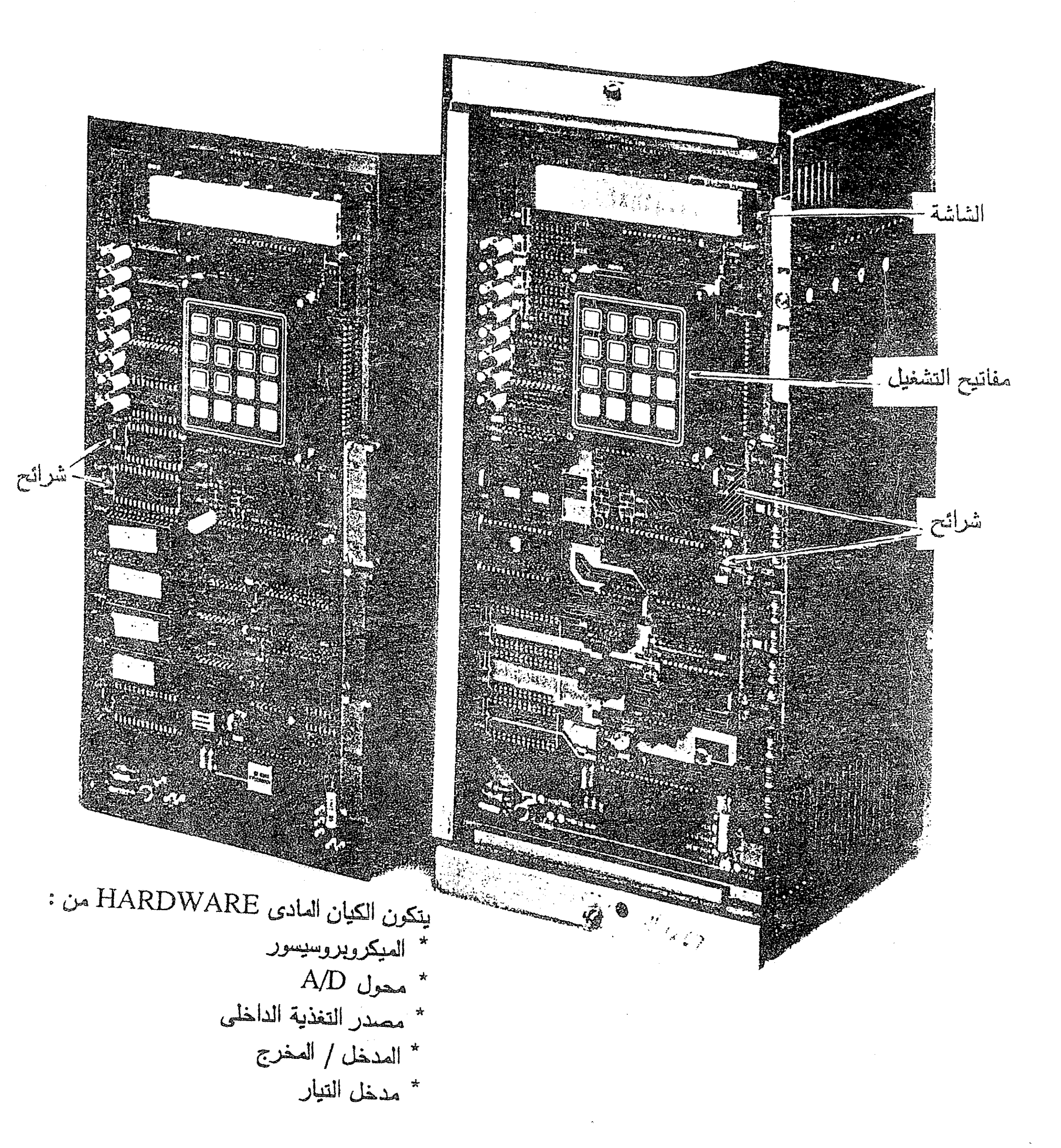
شكل (10-28) الشريحة LF 198



شكل (10-29) التحول من اشارة تمثيلية الى رقمية



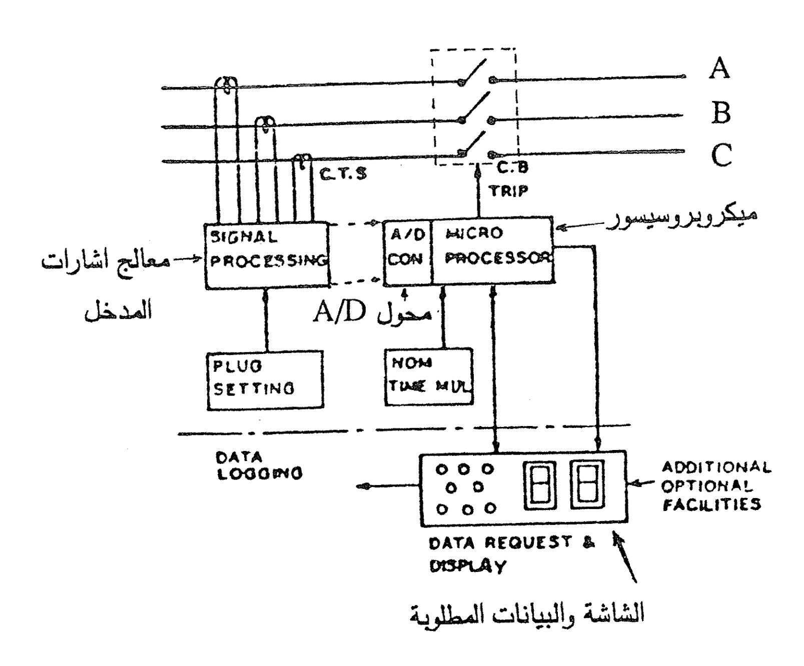
شكل (10-30) المتمم الرقمى



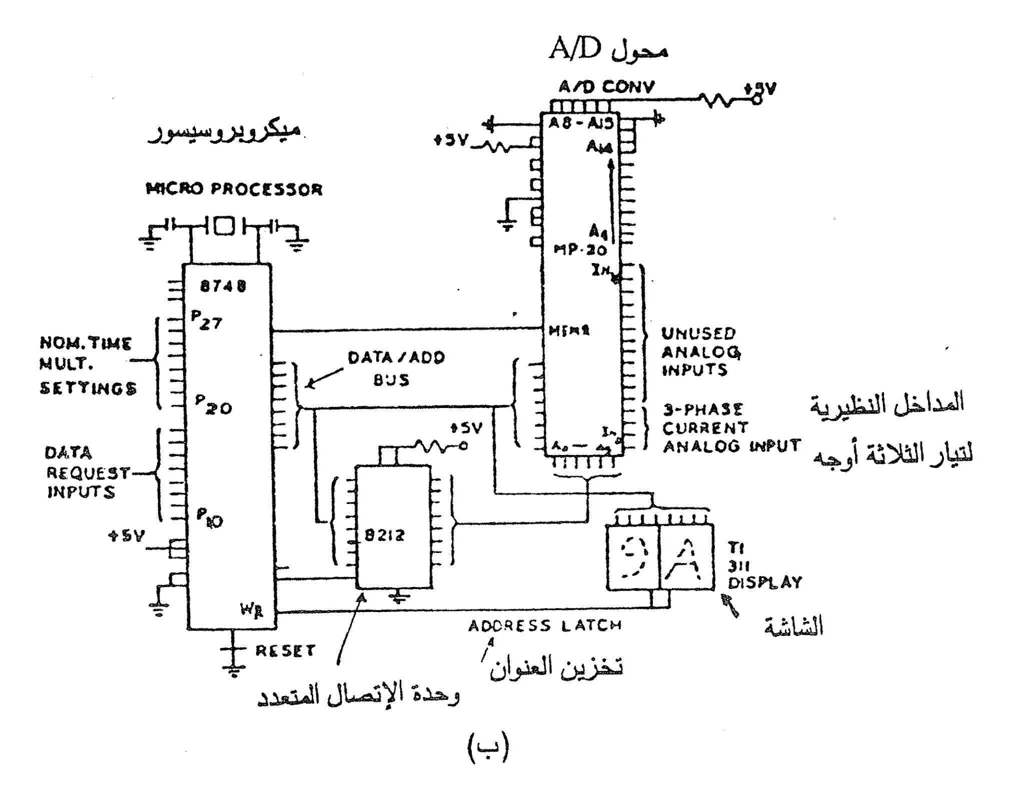
يتكون الكيان المادى HARDWARE من :

* الميكروبروسيسور
* محول A/D
* مصدر التغذية الداخلى
* المدخل / المخرج
* مدخل التيار

شكل (10-31) متممات الوقاية ضد زيادة التيار من النوع الرقمى



(أ)



(ب)

شكل (10-32) المكونات الرئيسية لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار الرقمى « الوقاية ـ ٢ »

خلال الكيان المنطقى ، البرمجة، *(Software)* وذلك للحصول على تصميم لأقصى تيار مدخل لجميع مستويات تيار التشغيل العادى المختلفة ، ويفضل عمل ذلك من خلال الضبط. ثم تمر المداخل على مرشح *(Filter)* ثم إلى المحول *A/D* . يمعنى آخر يكون المعالج ، كما فى شكل *(10-33)* ، عبارة عن محولات تيار مساعدة ، مرشح ، مكبر . كل هذا لتجهيز المداخل للمحول *A/D*

ب) المحول التمثيلى / الرقمى *Analogue / Digital Converter*

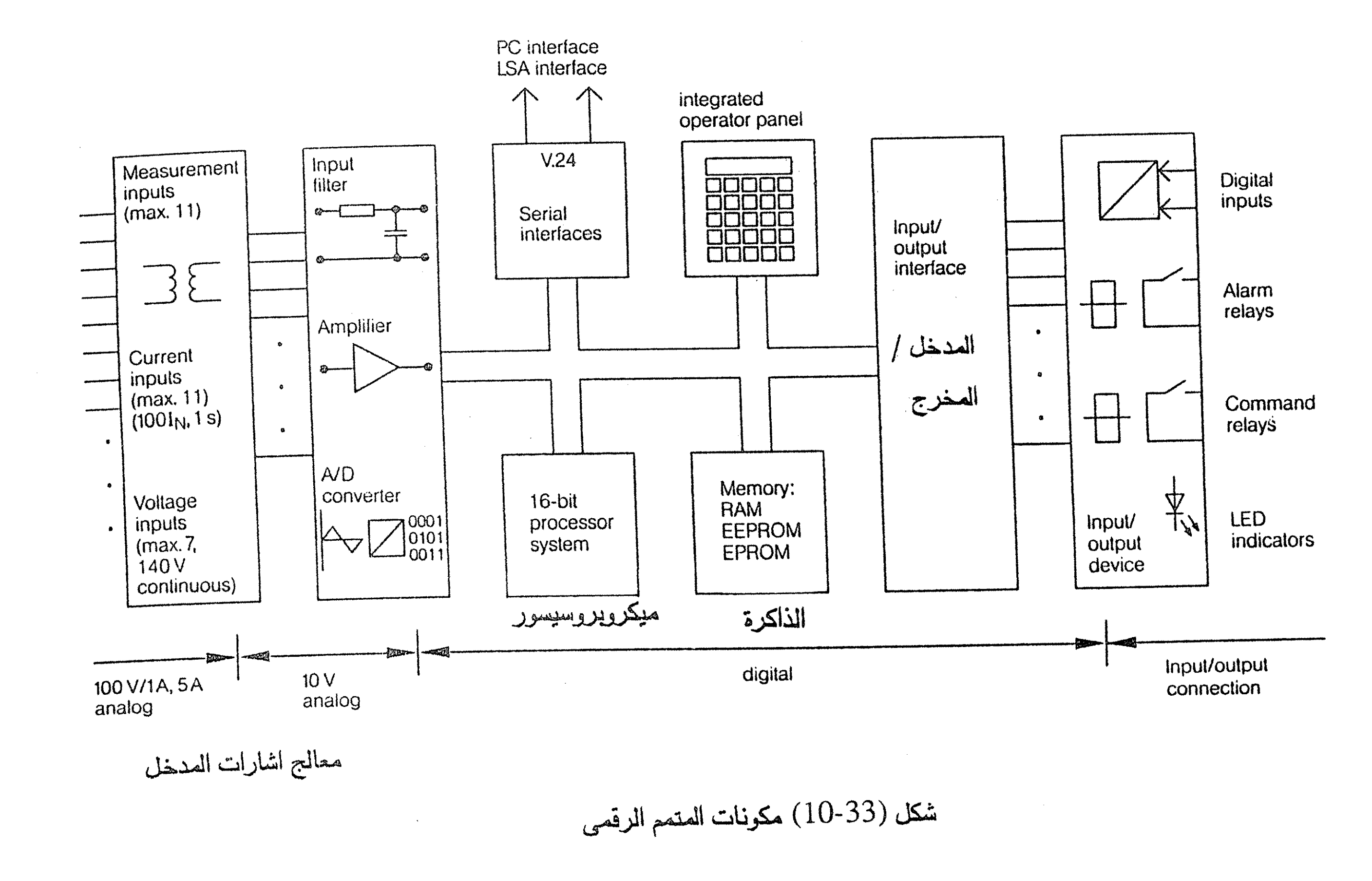
من أكبر مشاكل متمم الوقاية ضد زيادة التيار أن تيارات المدخل يمكن أن تصل إلى *40* مرة من قيمة الحمل الكلى . بإستخدام محول *A/D* يحتوى على ثمانية بت *{8-Bit (7bit + 1 sign bit)}* ، أحدهما لإشارة البت ، عندما تمثل السبعة بت أقصى تيار العطل لـ *20* مرة من تيار الضبط *(Plug setting current)* فإن خطأ الزمن *(Time error)* للكميات عند هذا الحد يمكن أن تكون *0.1%* بينما عند قيمة ضعف تيار الضبط فإن خطأ الزمن يكون فى حدود *10%* . لذلك من الأفضل أن يكون المحول *A/D* له خاصية غير خطية *(Non-linear)* وذلك لعمل تعويض جزئى لأخطاء الكميات .

ج) الميكرو بروسيسور *Microprocessor*

فى الشكل *(10-32)*ب إستخدمت شريحة ميكروبروسيسور رقم *8748* . وعموماً يجب أن تؤخذ العوامل الآتية فى الإعتبار عند إختيار الميكروبروسيسور :

* أن تكون الشريحة كافية للتشغيل .
* ذاكرة من النوع *ROM , RAM*
* طول كلمة مناسب .
* أقل قدرة للمصدر .
* مدخل / مخرج *(I/O)*
* سهولة الحصول على زمن دقيق .
* التجهيز بعدد كافى من الذاكرة المبرمجة *(Erasable programmable memory)* ويرمز له بالرموز *E-PROM)* .

ولو أخذنا الشريحة *8748* على سبيل المثال فإن طول الكلمة *(Byte)* تكون *8* بت



شكل (10-33) مكونات المتمم الرقمي

(bit) الذاكرة *ROM* تحتوى على *1* كيلوبيت *(1K byte)* بينما تحتوى الذاكرة *RAM* على *64* بيت *(64 byte)* . ويحتاج إلى مصدر تغذية *+5V* ولا يحتوى على مرشح للمداخل الرقمية .

وتكون متطلبات المدخل / المخرج *(I/O)* كالآتى :

* ثمانية خطوط لمداخل مستوى التيار (بوحدة الإتصال المتعدد) .
* ثلاثة خطوط لإشارات التحكم (لمحول *A/D*) .
* ثمانية خطوط للمداخل المتعددة للزمن العادى .
* ثمانية خطوط للإشارات المرغوبة لبيانات العطل .
* ثمانية خطوط لبيانات الشاشة .

ويكون مجموع الخطوط *35* خط (أى تزيد بثمانية خطوط عن خطوط المدخل/المخرج والتى تكون *27* للشريحة *8748*) . ويمكن التحكم وتصحيح عدد الخطوط عن طريق خطوط النقل بين شريحة الميكروبروسيسور والشاشة ووحدة الإتصال المتعدد . لاحظ الربط بين عنصر المدخل/المخرج مع المكونات الأخرى بشكل *(10-33)* .

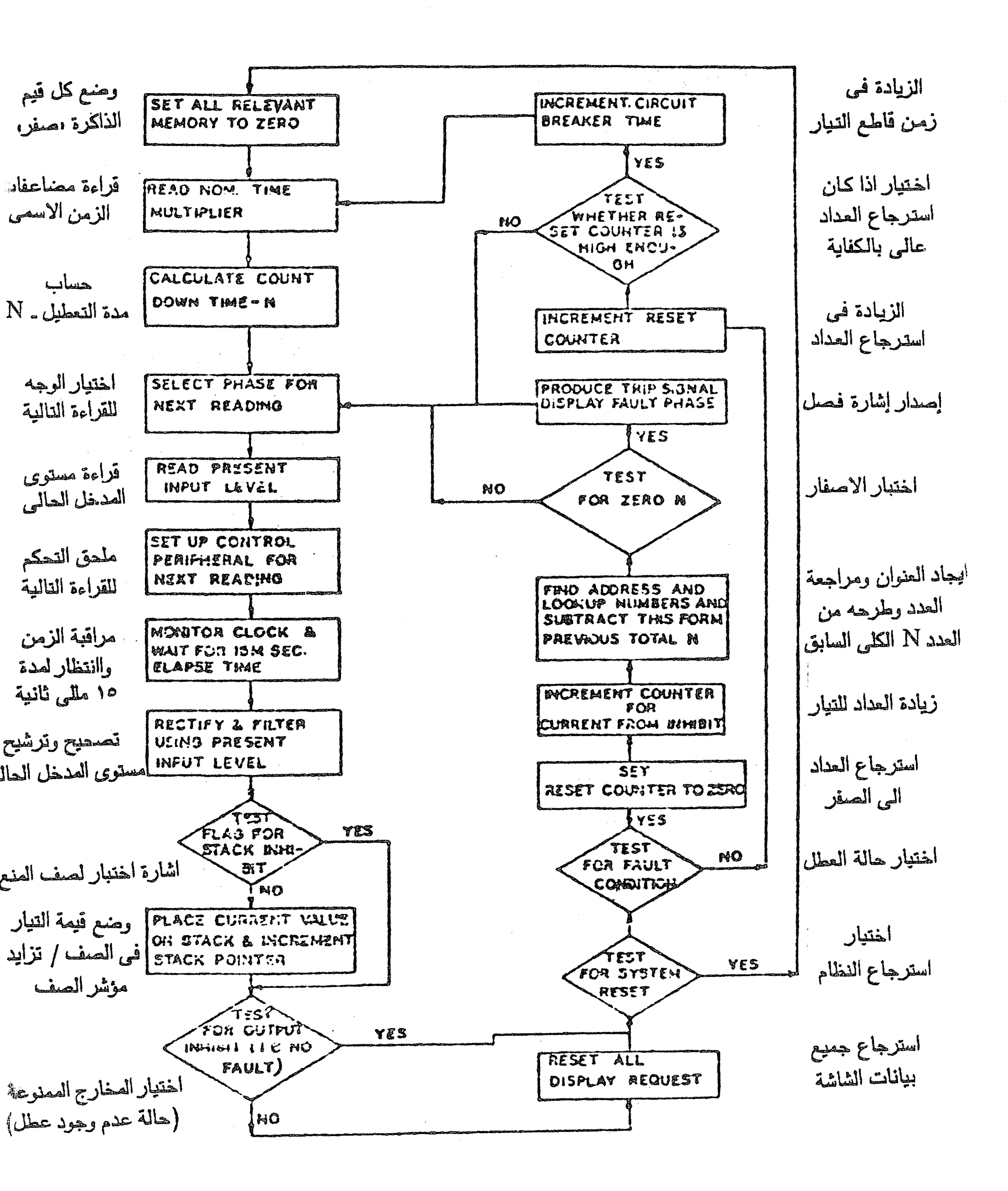
ويوضح شكل *(10-34)* مخطط سير العمليات *(Flowchart)* للكيان المنطقى *(Software)* لمتمم وقاية ضد زيادة التيار والذى يوضح سير العمليات الخاصة بالمسارات والفروع المختلفة والقرارات الموجودة ضمن البرنامج .

ويعمل البرنامج بالتتابع التالى :

قراءة التيارات ، التأكد من المطلوب ، عمل حسابات على حالة العطل ، تتابع زمن الضبط ، تغيير الأوجه وإعادة العمليات بنفس الطريقة .

وفيما يلى مثال لمتمم وقاية ضد زيادة التيار من النوع الرقمى :

يوضح شكل *(10-35)* أ محتويات الواجهة للمتمم والتى تتمثل فى لوحة المفاتيح *(Keyboard)* وشاشتين *(Display)* ودلالة ضبط المتمم *(Protective function setting)* ، ويستخدم المتمم لوقاية المحركات ، المحولات ، المغذيات .



شكل (10-34) مخطط سير العمليات للكيان المنطقى لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار

ويوضح شكل *(35-10)*ب تمثيل للشاشتين ولوحة المفاتيح ، وتكون إحدى الشاشتين مسئولة عن العناوين *(Address or mode)* والأخرى مسئولة عن قيم الضبط وكميات المدخل *(Value)* وتظهر على كل منهما أرقام لها معانى معينة . بالنسبة للوحة المفاتيح فإن دلالتها كالآتى :

* مفاتيح الأرقام *9 ...... ,2 ,1 ,0* لإدخال الأرقام الدالة على العناوين والضبط .
* مفتاح *R* خاص بالإستعادة *(Reset)* ، لرفع إشارات التشغيل من الشاشات .
* مفتاح *V* خاص بقيم *(Value)* الضبط .
* مفتاح *M* خاص بالعناوين *(Mode or Address)*
* مفتاح *Cl* للحذف *(Erase Key)* .
* مفتاح إضافة أو وضع العلامة العشرية .
* مفتاح *E* للإدخال *(Enter)* حيث يضغط عليه فى نهاية إدخال عنوان أو ضبط قيمة.

حدود العنوان *Address Ranges*

لكل متمم رقمى يجب توضيح حدود ومعانى الأرقام المستخدمة وهو ما يعرف بحدود العناوين المستخدمة فمثلاً لهذا النوع :

* الأرقام *0-49* تعنى ضبط دوال الوقاية *(Protective function setting)*
* الأرقام *51-99* تعنى قيم تيارات الحمل *(Load values)*
* الأرقام *101-149* تعنى دلالة الدوال المنطقية للفصل *(Tripping logics)*
* الأرقام *151-199* تعنى القيم التى تم عندها الفصل وزمن الحذف .
* الأرقام *900-999* تعنى إشارات المخرج .

ويلاحظ وجود فرق بقيمة *50* بين كل مستوى أرقام وما يسبقه وذلك لتسهيل عملية الفحص والتأكد من قيم الضبط للمتمم ، فمثلاً لدالة تيار القصر *(I»)* يلاحظ الآتى :

Setting »	*= mode 01*	إختلاف بقيمة *50*
Actual current level	*= mode 51*	
Tripping logic I»	*= mode 101*	إختلاف بقيمة *50*
Value at trip I»	*= mode 151*	

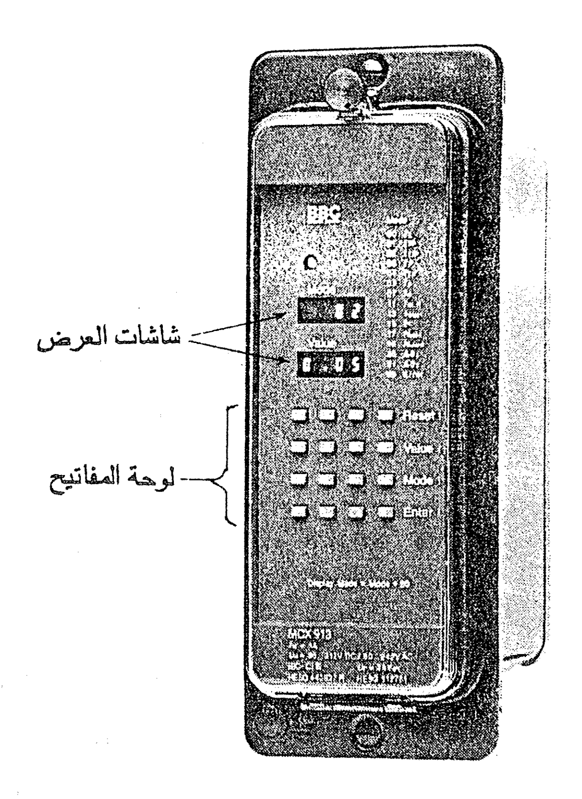
Timer setting t_1»	= *mode 02*	}	إختلاف بقيمة 50
Time counter t_1»	= *mode 52*		
Elapsed time t_1»	= *mode 152*		

كذلك يوضح كتالوج المتمم معنى أو دلالة الأرقام المستخدمة وفيما يلى توضيح لبعض الأرقام :

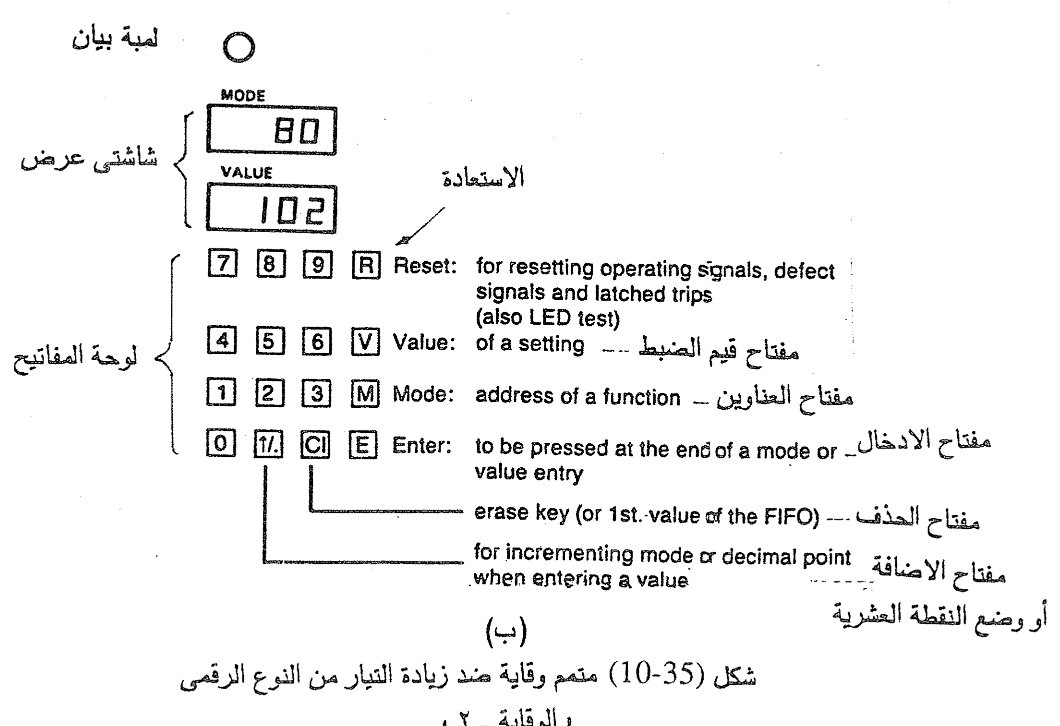
Mode	*Setting*	*Symbol*	*Setting range*
00	*Setting current*	I_E	0.30 to 01.20
01	*Phase fault 1*	I»	2.00 to 20.00
02	*Timer*	t_1»	0.00 to 09.99
03	*Over current 1*	$I>$	0.08 to 08.00
04	*Timer*	$t_1>$	0.10 to 200.0
41	*Phase fault 2*	I»	2.00 to 20.00
42	*Timer*	t_2»	0.00 to 09.99
43	*Over current 2*	$I>$	0.08 to 08.00
44	*Timer*	$t_2>$	0.10 to 200.0
......	....	....	....

والخلاصة أنه لكل متمم نظام تشغيل معين محكوم بالبرنامج الخاص به ولذلك يجب إتباع تعليمات الصانع لإدخال البيانات وبالتأكد من قيم الضبط ، التأكد من سلامة المكونات الداخلية للمتمم .... ويوضح شكل *(10-36)* العناصر الرئيسية المكونة لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار الرقمى ودوائر التغذية من محولات التيار ـ ودوائر الجهد المساعد والذى يمكن أن يكون جهد متردد *(A.C)* أو مستمر *(D.C)* .
ويتكون المتمم من :

عنصر المدخل ـ محول *A/D* ـ الميكروبروسيسور ـ الشاشة ـ لوحة المفاتيح ـ قنوات



(أ)



(ب)

شكل (10-35) متمم وقاية ضد زيادة التيار من النوع الرقمى

« الوقاية ـ ٢ »

إتصال - وحدة الإتصال المتعدد - عنصر المخرج .

ويحتوى المتمم على أربعة مساعدات *(Auxiliary relay)* هم *AR/, AR//* لدوائر الفصل و *MR/, MR//* لدوائر الإشارات بالإضافة إلى مساعد إحتياطى . تغذى ملفات هذه المساعدات عن طريق مصفوفة فصل الكيان المنطقى ، البرمجة ، *(Software tripping matrix)* والموضحة بشكل *(10-37)*أ والتى توضح دلالة دوال الوقاية المختلفة وإتصالها بشاشة القيم *(Value)* .

وتكون دلالة الأرقام التى تظهر على الشاشة كالآتى :

Value 0	≅ *no action*	لم يعمل
Value 1	≅ *starting signal*	إشارة البداية
Value 2	≅ *tripping signal*	إشارة الفصل
Value 3	≅ *latched tripping signal*	تثبيت إشارة الفصل

وكل رقم يظهر على الشاشة يخص المساعدات كالمثال فى شكل *(10-37)*ب .

متمم الوقاية المسافية الرقمى :

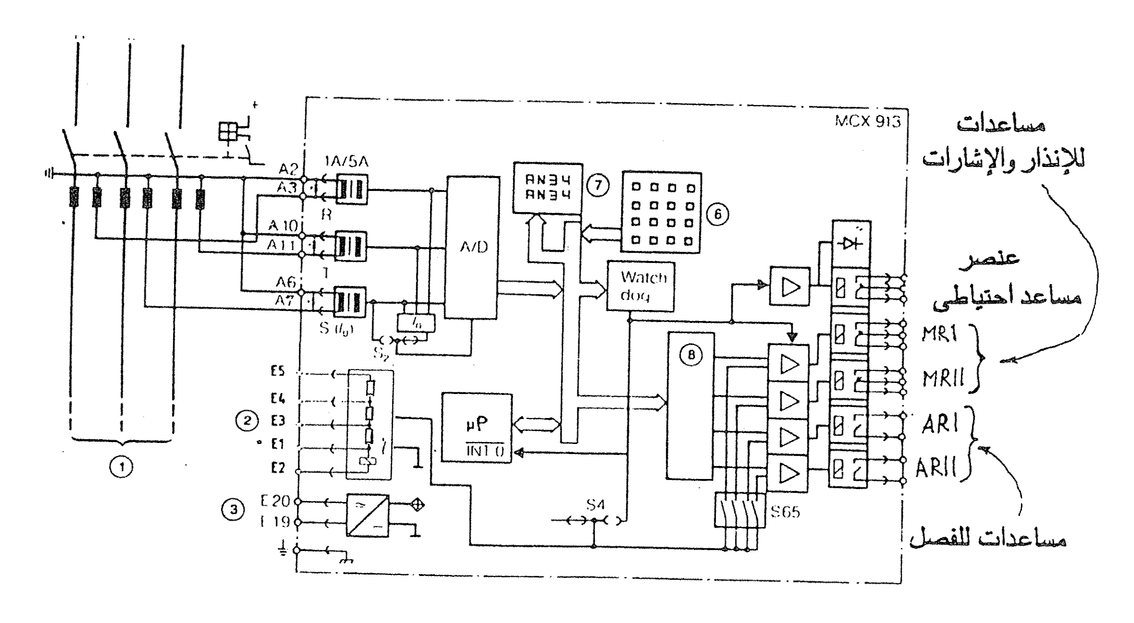
تمتاز متممات الوقاية المسافية الرقمية عن المتممات التقليدية سواء كانت كهرومغناطيسية أو إستاتيكية فى أنها لا تعتمد على خصائص الشبكة الكهربائية بمعنى أنه يركب لأى ظروف مثل : خط أو كابل - طويل أو قصير - معاوقة مصدر التغذية كبيرة أو صغيرة - نظام التأريض .

ويوضح شكل *(10-38)*أ متمم وقاية مسافية رقمى ، تحتوى واجهة المتمم على شاشتى عرض ومنفذين *(Serial interface port)* أحدهما لتوصيل كمبيوتر شخصى *(PC)* والآخر لتوصيل نظام التحكم بالمحطة وذلك لإمكان إدخال البيانات للمتمم أو عمل مراجعة لقيم الضبط أو ......

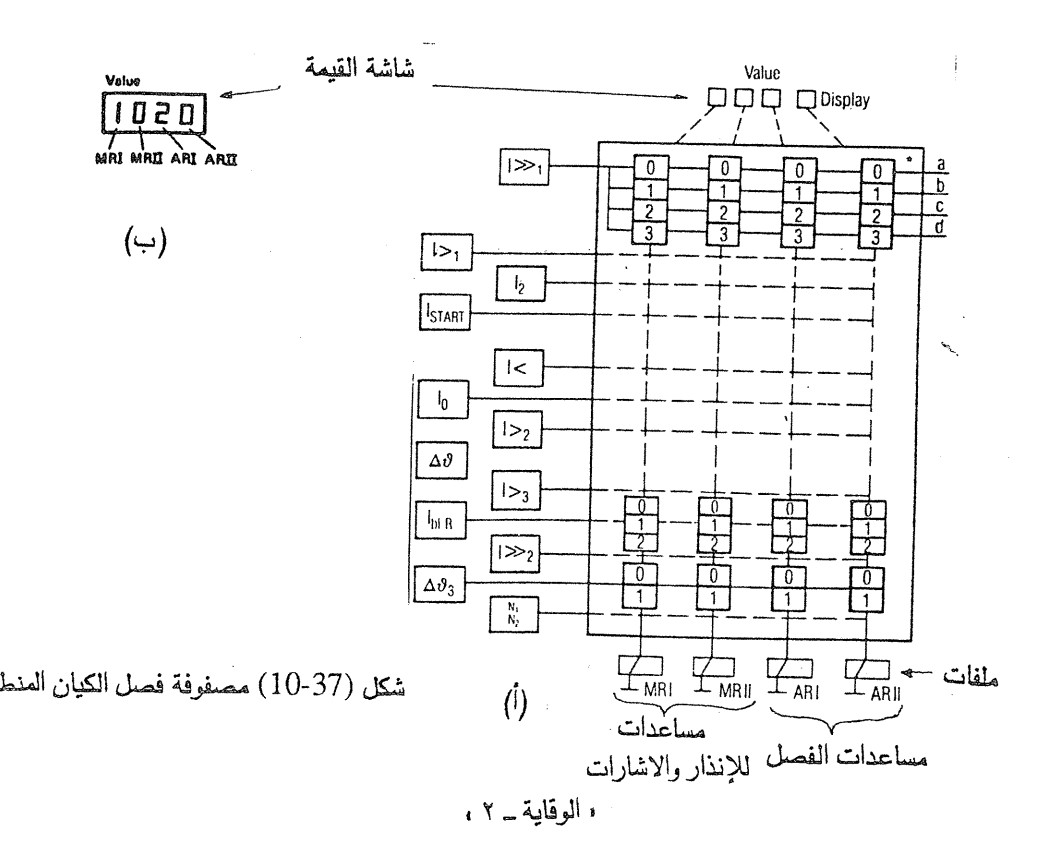
وتكون ملامح المتمم كالآتى :

* عنصر البداية :

وقاية ضد زيادة التيار أو ضد إنخفاض المعاوقة .



شكل (10-36) العناصر المكونة لمتمم الوقاية ضد زيادة التيار الرقمى



شكل (10-37) مصفوفة فصل الكيان المنط

* المراحل :

ثلاثة مراحل ، ومرحلة حد الوصول *(Overreach)* ، ومرحلة إنعكاس القدرة .

* خاصية المراحل على شكل متعدد الأضلاع *(Polygon)* ، كما فى شكل *(10-38)*ب، وتكون العناصر الأساسية المكونة للمتمم والموضحة بشكل *(10-39)* (الكيان المادى *Hardware*) هى :

* وحدة المحول *Transformer unit*

وتحتوى على محولات تيار وجهد مساعدة لتحويل إشارات مداخل التيار والجهد إلى مستويات مناسبة لتغذية الدوائر المتكاملة ، وتكون هذه المحولات ذات قلب حلقى *(Toroidal core)* .

* المحول النظيرى / الرقمى *A/D Converter*

يتم تحويل إشارات المدخل النظيرية إلى إشارات رقمية . لذلك تحول إشارات المدخل الى عينات بعدد *12* عينة فى كل دورة (أى يكون تردد العينة *600* هرتز عندما يكون تردد النظام *50* هرتز) .

* وحدة المعالجة المركزية *Central Processing Unit*

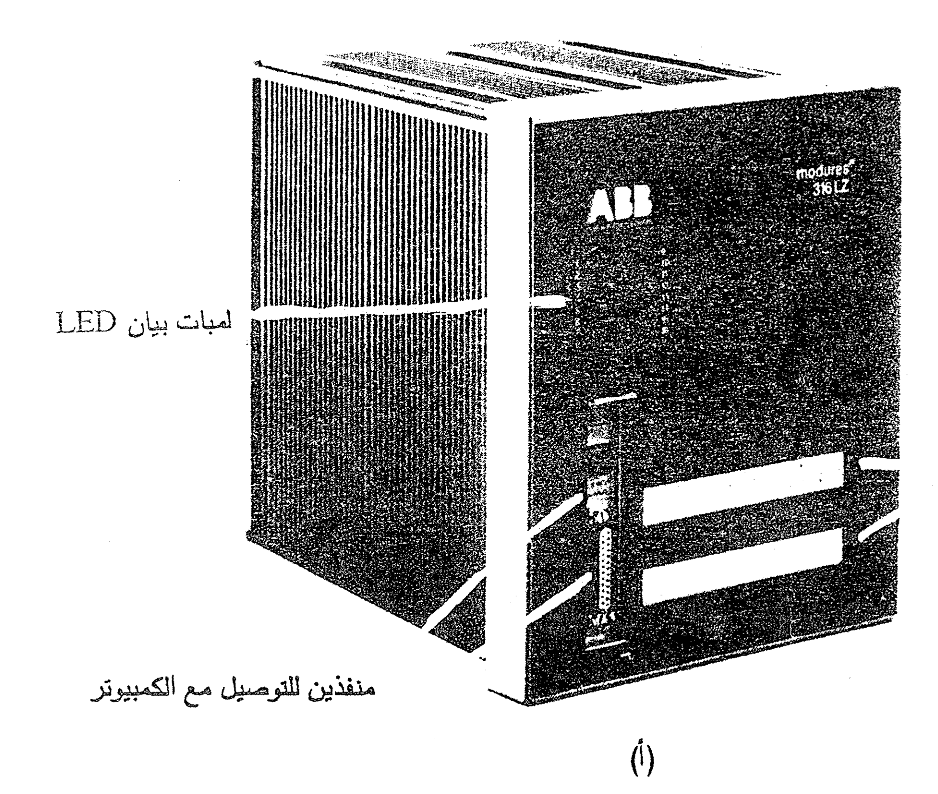
ويكون مسئولاً عن دالات الوقاية والتحكم فى المداخل والمخارج المنطقية .

* ناقل الذاكرة الزوجى *Dual Ported Memory*

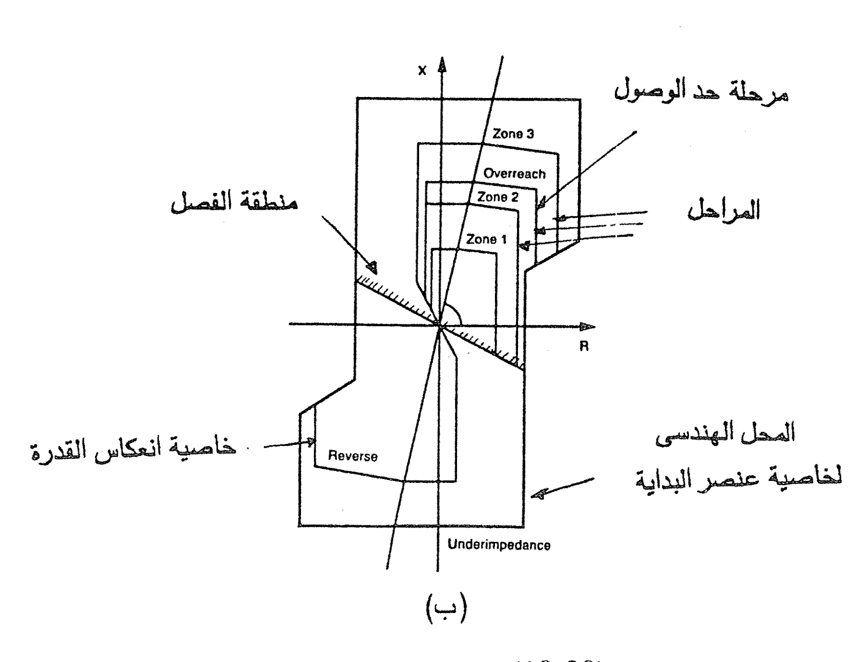
ويرمز له بالرموز *DPM* ، ويكون مسئولاً عن تبادل البيانات بين وحدة المعالجة الأمامية *(Front end processing unit)* والميكروبروسيسور الرئيسى . يستقبل الميكروبروسيسور الرئيسى إشارات المعطيات من وحدة المعالجة الأمامية ويشكل العمليات الحسابية .

كذلك يتم الإتصال بين *PC* وبين الميكروبروسيسور الرئيسى لإختبار المتمم والتأكد من سلامة البرنامج والعمليات الحسابية بالإضافة إلى معرفة بيانات وقت العطل عن طريق إستدعائها على الكمبيوتر الشخصى *PC* .

أخيراً ، وحدة المدخل / المخرج الثنائى *(Binary input/output unit)* والتى تغذى عنصر المخرج لإعطاء إشارة فصل قاطع التيار ، بالإضافة إلى تغذية إشارات البيان *(LED)* .



(أ)



(ب)

شكل (10-38) متمم الوقاية المسافية الرقمى

« الوقاية ـ ٢ »

ويوضح شكل *(10-40)* خطوات مرور إشارات المعطيات بالمتمم والتى يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أجزاء هى :

* التحويل من المعطات التمثيلية إلى الرقمية .
* عمليات الإشارات الرقمية .
* عمليات الإشارات الثنائية .

وعن طريق توصيل الكمبيوتر الشخصى ، أو الكمبيوتر المركزى بالمحطة ، بالمتمم ، فإنه يتم تخزين قيم الضبط على قرص *(Diskette)* والتى يتم نقلها بسرعة إلى المتمم .

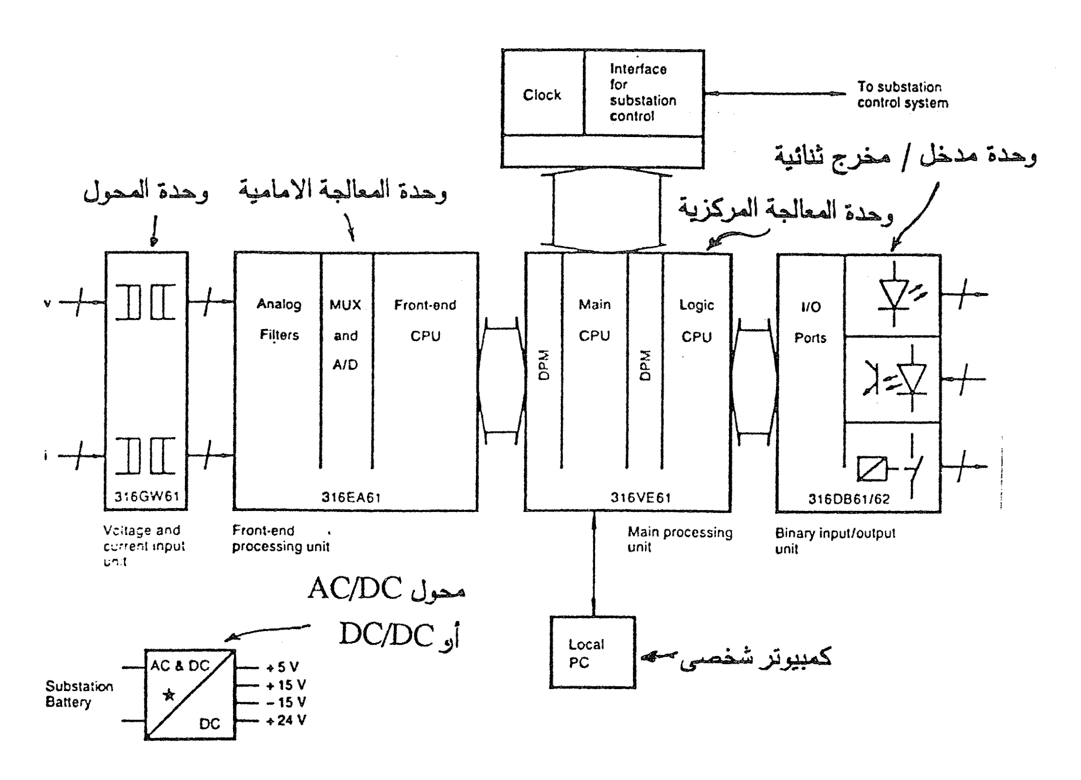
وعند حدوث عطل يعمل المتمم وتضىء لمبات البيان *LED* على الواجهة معطية دلالة لحالة العطل . وتكون دلالة لمبات البيان كالآتى :

L1	*Relay ready*	*L9*	*Trip com*
L2	*Gen trip*	*L10*	*Power swing*
L3	*Gen start*	*L11*	*Trip O/C*
L4	*Start R*	*L12*	*VT sup delay*
L5	*Start S*	*L13*	*Trip C.B.*
L6	*Start T*	*L14*	*Delay 3*
L7	*Start E*	*L15*	*Delay 4*
L8	*Delay Z*	*L16*	*Delay def.*

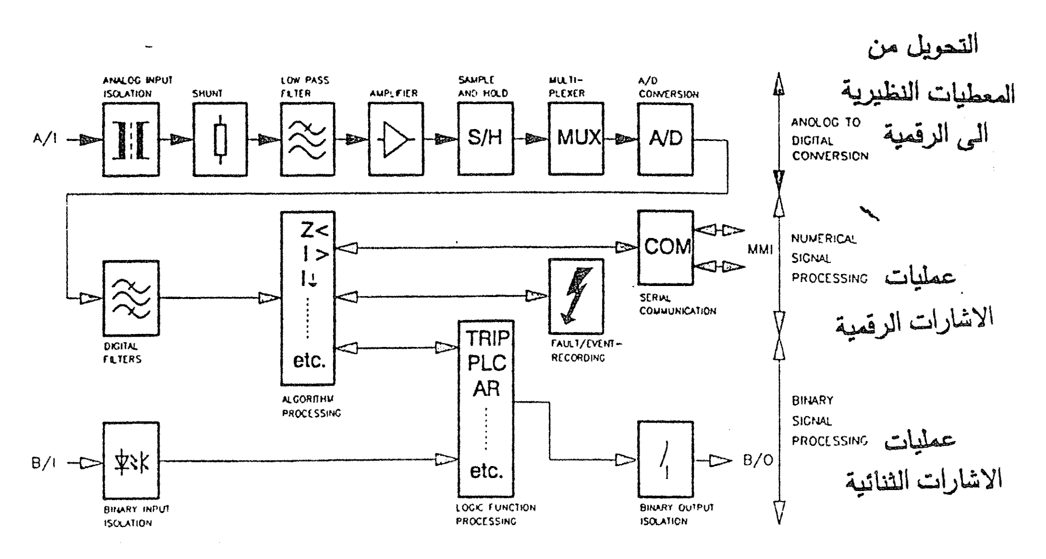
متمم وقاية رقمى شامل لوقاية المحولات :

يوضح شكل *(10-41)* أ متمم وقاية رقمى لوقاية محولات القدرة ـ ثلاثية الأوجه ـ ذات ملفين أو ثلاثة ملفات ، يمتاز بإحتوائه داخلياً على عمليات تعويض نسبة التيار وتصحيح الزاوية . ويحتوى على الدوال الآتية :

* وقاية تفاضلية .
* وقاية ضد زيادة التيار لجانبى محول القدرة .
* وقاية ضد إرتفاع الجهد .
* وقاية ضد زيادة الحمل الحرارى .



شكل (10-39) المكونات الرئيسية لمتمم الوقاية المسافية الرقمى



شكل (10-40) خطوات مرور اشارات المعطيات بمتمم الوقاية المسافية الرقمى

وتحتوى واجهة المتمم على شاشتى عرض ومنفذين *(Serial ports)* إحداهما لتوصيل كمبيوتر شخصى *(PC)* والأخرى لتوصيل نظام التحكم بالمحطة ، عند الإحتياج، وذلك لإمكان إدخال البيانات للمتمم أو عمل مراجعة لقيم الضبط ...

ويمكن إستخدام هذا المتمم أيضاً لوقاية المحولات الذاتية *(Auto-transformers)* . أو لوقاية وحدة مولد/محول . ويكشف المتمم جميع الأعطال الآتية :

* جميع أعطال الأوجه :
* الأعطال الأرضية للمحولات ذات نقطة التعادل المؤرضة مباشرة مع الأرض أو من خلال معاوقة مناسبة .

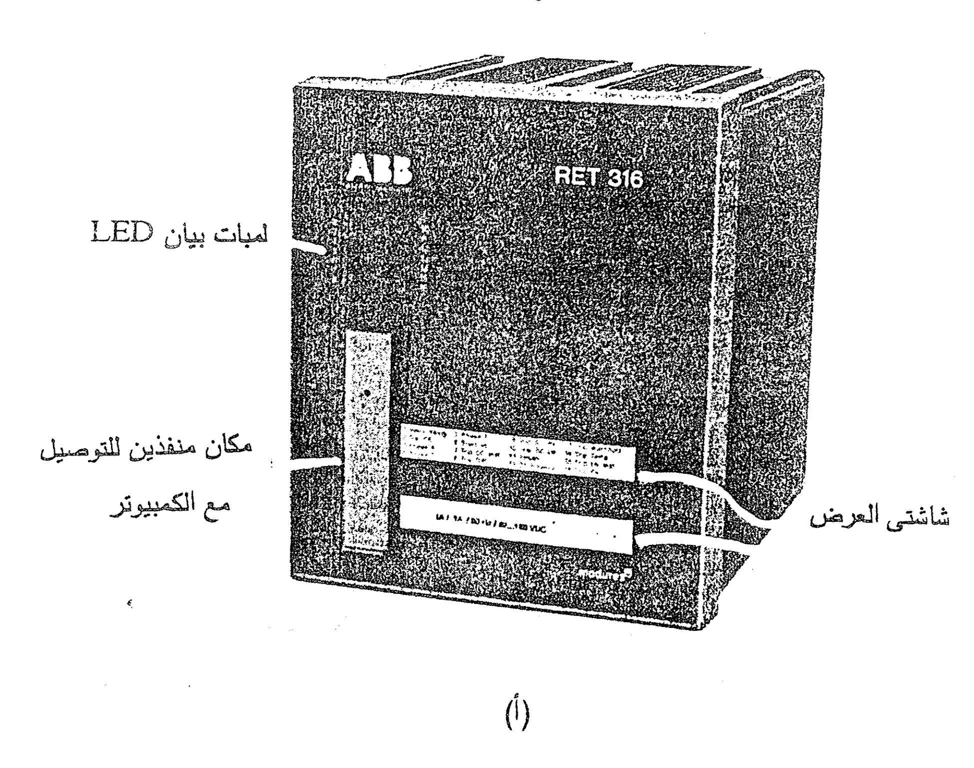
ويوضح شكل *(10-41)*ب المكونات الأساسية الآتية للمتمم :

1) وحدة المداخل النظيرية *(Analog input unit)*
2) وحدة المعالجة الأمامية *(Front processing unit)*
3) وحدة المداخل / المخارج الثنائى *(Binary I/O unit)*
4) وحدة التغذية المساعدة .
5) وحدة المعالجة المركزية *(Central processing unite)*

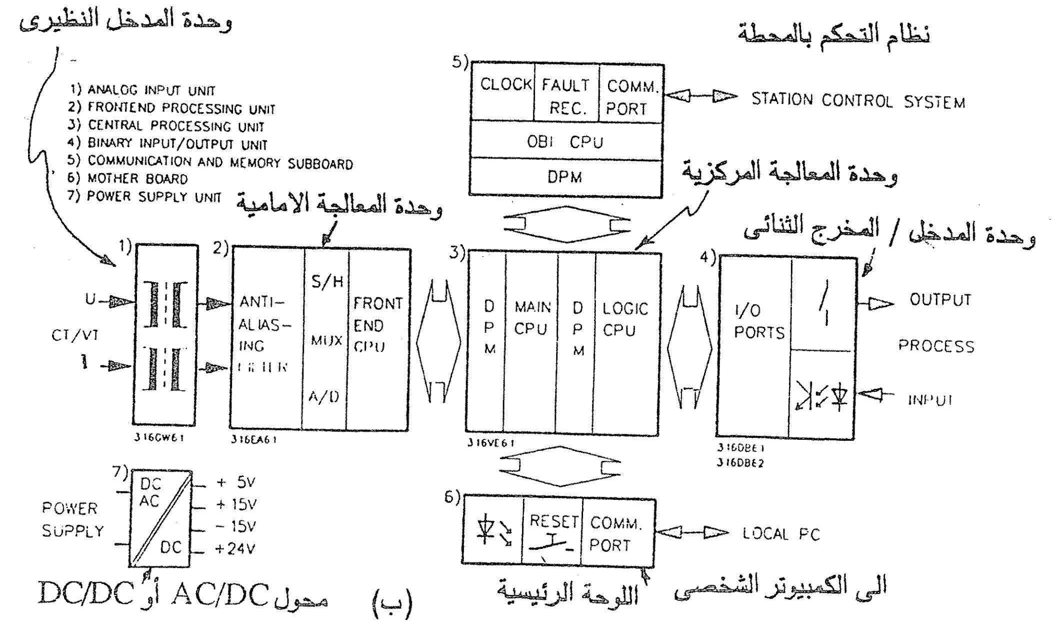
وتتكون وحدة المداخل النظيرية من عدد *6* أو *9* محولات تيار مساعدة (حسب الدوال المطلوبة من المتمم) وعدد *3* محولات جهد مساعدة .

يحول محول *A/D* المداخل النظيرية إلى إشارات رقمية . ويتم أولاً تحويل إشارات المداخل إلى عينات بعدد *12* عينة بكل دورة (أى يكون تردد العينة *600* هرتز عند تردد الشبكة *50* هرتز) .

وتحتوى وحدة المعالجة المركزية على ميكروبروسيسور يكون مسئولاً عن جميع العمليات الحسابية ، وكذلك يحتوى على ناقل زوجى للذاكرة *(DPM)* يكون مسئولاً عن تبادل البيانات بين وحدة المعالجة الأمامية والميكروبروسيسور الرئيسى . تستقبل وحدة المعالجة المركزية إشارات المعطيات من الكمبيوتر الشخصى أو المركزى . تكون نتيجة العمليات الحسابية عبارة عن إشارات ثنائية *(Binary signals)* تمر إلى الميكروبروسيسور المنطقى *(Logic)* ومنها إلى وحدة منافذ *(I/O)* للتحكم فى عنصر المخرج وإشارات البيان .



(أ)



(ب)

شكل (10-41) متمم وقاية رقمى شامل لوقاية المحولات

وعند حدوث عطل يعمل المتمم وتضيء لمبات البيان (LED) على واجهة المتمم مشيرة إلى حالة العطل . وتكون دلالة لمبات البيان كالآتي :

L1	Relay ready	L9	Trip diff. port
L2	Gen trip	L10	Trip O/C HV side
L3	Trip R	L11	Trip O/C LV side
L4	Trip S	L12	Overload alarm
L5	Trip T	L13	------
L6	Start O/C	L14	------
L7	Buchholz alarm	L15	------
L8	Overtemp alarm	L16	Overload trip

فيما يلى بعض خصائص المتمم :

1) الوقاية التفاضلية :

يخضع المتمم للخاصية الموضحة بشكل (10-42)أ والتى توضح العلاقة بين $\frac{I_\Delta}{I_H}$ ، $\frac{I_H}{I_N}$ حيث :

$$I_\Delta = |I_1 + I_2|$$

$$I_H = \begin{cases} \sqrt{I_1^{`} . I_2^{`} \cos\alpha} & \text{———> for } \cos\alpha \geq 0 \\ 0 & \text{———> for } \cos\alpha < 0 \end{cases}$$

$$\alpha = \measuredangle (I_1^{`} - I_2^{`})$$

لمحول يحتوى على ملفين تكون التيارات كالآتى :

$$I_1^{`} = I_1$$

$$I_2^{`} = I_2 \; , I_3$$

لمحول يحتوى على ثلاثة ملفات تكون التيارات كالآتى :

$$I_1^{`} = Max(I_1 , I_2 , I_3)$$

$$I_2^{`} = I_1 + I_2 + I_3 - I_1$$

2) الوقاية ضد زيادة التيار ذو الخاصية العكسية *(Inverse)*

يخضع المتمم للعلاقة الموضحة بشكل (10-42)ج بين I, t تبعاً للمعادلات الآتية :

منحنى عكسى جداً :

$$t = \frac{K * 13.5\,S}{(I/I_B) - 1}$$

المنحنى العكسى المتناهى :

$$t = \frac{K * 80\,S}{(I/I_B)^2 - 1}$$

عطل أرضى بزمن طويل

$$t = \frac{K * 120\,S}{(I/I_B) - 1}$$

حيث :

I_B : التيار الأساسى *(Base current)*

I : تيار التشغيل *(Pick-up current)*

K_1 : مضاعفات الزمن *(Time multiplier)*

العمليات الحسابية للمتممات الرقمية

لاحظنا فى أمثلة متممات الوقاية الرقمية السابقة أن جميعها تشترك فى نفس المكونات الأساسية ، عنصر المدخل ـ محول *A/D* ـ ميكروبروسيسور ....

أما الإختلاف بينهم فهو فى برنامج الكمبيوتر الذى ينفذ داخل وحدة المعالجة المركزية أى فى طريقة العمليات الحسابية المستخدمة للحصول على خاصية المتمم الرقمى .

وتستخدم محولات التيار والجهد لمراقبة وفحص الشبكة الكهربائية لأغراض القياس والتحكم والوقاية . وعادة تكون إستجابة معدات القياس والتحكم بطيئة ، أى أنها لا تتأثر بالحالات العابرة بالشبكة الكهربائية ، وحيث أن متممات الوقاية الرقمية سريعة الإستجابة لذلك فإنها تشعر وتتأثر بالحالات العابرة ، والتى تحدث عادة لحظة

عزل العطل أو عند حدوث فجائيات الصواعق أو .... لذلك يجب أن تتناسب الطرق الحسابية المستخدمة فى المتممات الرقمية مع العوامل التى تتعرض لها الشبكات الكهربائية .

وتصنف العمليات الحسابية المستخدمة للمتممات الرقمية إلى :

* إستخلاص المركبة الأساسية أو أية توافقيات من المعطيات

Extraction of fundamental or any harmonic components

* حساب كشف أعطال المعدات *Implementation of the fault algorithm*

وفيما يلى توضيح لبعض الطرق الحسابية المستخدمة :

١) بحساب العينة والمشتقة الأولى

Sample and First Derivative Calculation

تعتمد هذه الطريقة على فرض أن إشارات المدخل تحتوى فقط على المركبة الأساسية ـ يمكن الحصول على القيمة القصوى *(Peak value)* وزاوية إشارات المدخل لطول نافذة *(Window length)* تحتوى على ثلاثة عينات لكل دورة (ويعرف طول النافذة بطول الزمن المأخوذة فيه العينات) . يوضح شكل *(10-43)*أ جزء من موجة المدخل مقسمة إلى عينات على فترات *(h)* . ويمكن تحديد مكان العينة K عند نقطة التقاطع مع المحور الأفقى أو عند أى نقطة على الموجة . وبفرض وجود ثلاثة عينات X_{K-1} , X_K , X_{K+1} أرقامها $K-1$, K , $K+1$ للموجة الأساسية وأن *(h)* هى فترة *(Interval)* العينة و *(ω)* هى التردد الزاوى *(angular frequency)* ، كما فى شكل *(10-43)*ب . فإن العينة X_K تعرف بالمعادلة :

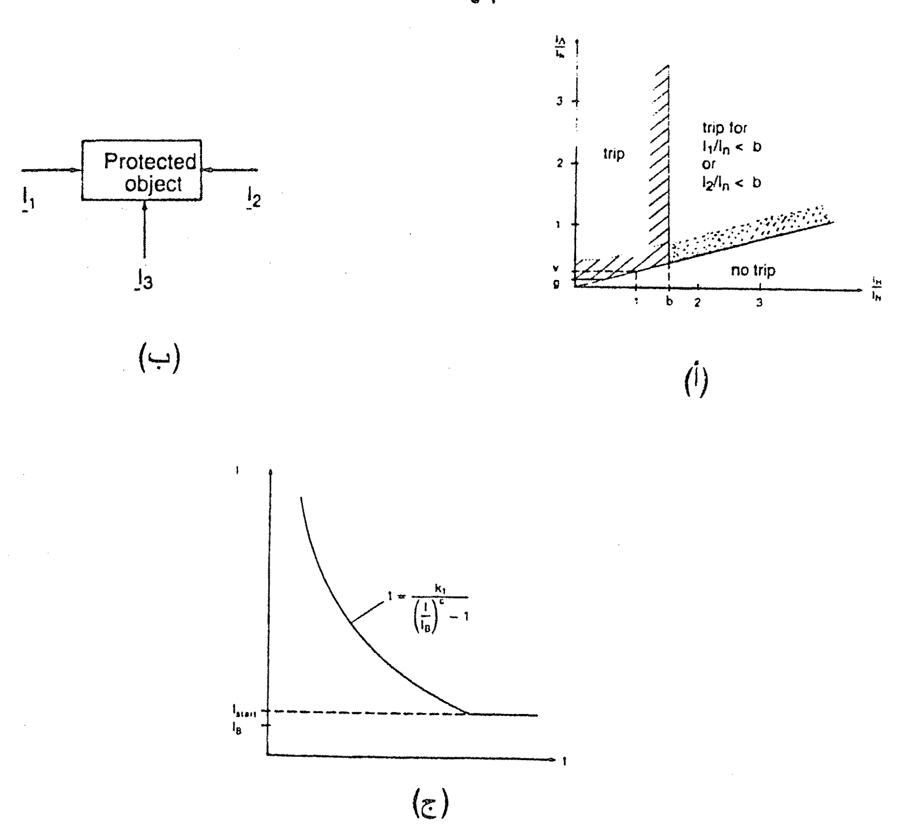
$$X_K = Y \sin(\omega t + \phi) \quad \text{———>} \ (10\text{-}4)$$

وتكون المشتقة الأولى للمعادلة السابقة كالآتى :

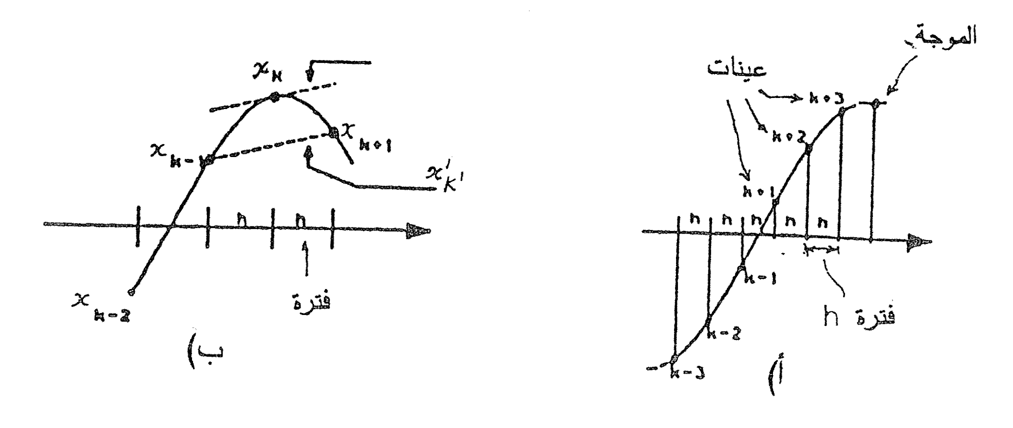
$$X_K` = Y \omega \cos(\omega t + \phi) \quad \text{———>} \ (10\text{-}5)$$

حيث Y هى القيمة القصوى للموجة وتخضع للمعادلة :

$$Y = \sqrt{X_K^2 + \left(\frac{X_K^1}{\omega}\right)^2} \quad \text{———>} \ (10\text{-}6)$$



شكل (42-10) خصائص المتمم الموضح فى شكل (41-10)



شكل (43-10) جزء من موجة مدخل مقسمة الى عينات

وبإستخدام المعادلتين (10-5) , (10-4) نحصل على :

$$\tan(\omega t + \phi) = \frac{X_K}{X_K^1 / \omega}$$

ونحصل على X_K^1 من الحد الأول لصيغة الإختلاف المركزى (Central difference formula) كالمعادلة الآتية :

$$X_K^1 = \frac{1}{2h} (X_{K+1} - X_{K-1})$$

وحيث أن طول النافذة أونافذة البيانات (Data window) عبارة عن ثلاثة عينات فقط ، كما فى شكل (10-44) ، لذلك فإن الحسابات تتأثر سريعاً بالتغير الحادث للموجة . وتظهر مركبة التيار المستمر (D.C) والتوافقيات وتؤثر عليه قيمة المشتقة الأولى X_K^1 . ويتم التخلص من مركبة التيار المستمر بإضافة دائرة L-R مع الملف الثانوى لمحول التيار بينما تضاف مرشحات ومنعمات للتخلص من التوافقيات .

وتستخدم هذه الطريقة لحساب قيمة وزاوية معاوقة الخط (Line impedance) كالآتى : القيمة القصوى لموجة الجهد V_P تساوى :

$$V_P = \sqrt{V_K^2 + \left(\frac{V_K^1}{\omega}\right)^2}$$

$$\tan(\omega t + \phi) = \frac{V_K}{V_K^1 / \omega} = \frac{\omega V_K}{V_K^1}$$

وبالمثل فإن القيمة القصوى لموجة التيار I_P تساوى :

$$I_P = \sqrt{I_K^2 + \left(\frac{I_K^1}{\omega}\right)^2}$$

$$\tan(\omega t) = \frac{\omega I_K}{I_K^1}$$

$$Z = \frac{V_P}{I_P} = \sqrt{\frac{V_K + (\frac{V_K'}{\omega})^2}{I_K + (\frac{I_K'}{\omega})^2}}$$

$$f = arc\tan\left(\frac{\omega V_K}{V_K'}\right) \quad arc\tan\left(\frac{\omega I_K}{I_K'}\right)$$

2) بحساب المشتقة الأولى والثانية للموجة :

First and Second Derivative Calculation

بفرض أن إشارة المدخل عبارة عن موجة جيبية ، ولحذف تأثير مركبة التيار المستمر $(D.C)$ ، يفرض أن معادلة موجة العينة كالآتى :

$$X_K = Y\sin(\omega t + \phi)$$

فإن المشتقة الأولى تكون :

$$X_K' = Y\omega\cos(\omega t + \phi)$$

وتكون المشتقة الثانية :

$$X_K'' = -Y\omega\sin(\omega t + \phi)$$

وتكون القيمة القصوى Y تساوى :

$$Y = \sqrt{\left(\frac{X_K'}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{X_K''}{\omega}\right)^2}$$

$$\tan(\omega t + \phi) = \frac{-X_K''}{\omega X_K'}$$

نحصل على المشتقتين بإستخدام صيغة الإختلاف المركزى كالتالى :

$$X_K' = \frac{1}{2h}(X_{K+1} \quad X_{K-1})$$

$$X_K'' = \frac{1}{h}(X_{K+1} - 2X_K + X_{K+1})$$

وبنفس الطريقة السابقة يمكن الحصول على قيمة وزاوية معاوقة الخط .

3) بحساب تحليلات فورير لنافذة دورة واحدة :

Algorithm Based on Fourier Analysis with One Cycle Window

بإستخدام طريقة تحليل فورير يمكن إستخدام أى إشارات مداخل دورية تحتوى على المركبة الأساسية أو مركبات التوافقيات . وبفرض موجة مركبة $X(t)$ ، تبعاً لنظرية فورير تحلل إلى :

$$X(t) = A_0 + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \cos(m\,\omega t) + \sum_{m=1}^{\infty} B_m \sin(m\,\omega t)$$

حيث :

$$A_m = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\Pi} X(t)\ \cos(m\,\omega t)\,dt$$

$$B_m = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\Pi} X(t)\ \sin(m\,\omega t)\,dt$$

$$A_0 = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\Pi} X(t)\ dt$$

حيث m هو درجة التوافقية (عندما $m = 1$ نحصل على المركبة الأساسية)

وبفرض إحتواء دورة التردد الأساسى على عدد N عينة ، فمن قيم العينات نحصل على A_m , B_m للعينة K :

$$(A_m)_K = \frac{1}{\pi}\sum_{l=1}^{N} X_{K-N+l}\ \cos\left(\frac{2\pi}{N}m\,.\,l\right)$$

$$(B_m)_K = \frac{1}{\pi}\sum_{l=1}^{N} X_{K-N+l}\ \sin\left(\frac{2\pi}{N}m\,.\,l\right)$$

وبإستخدام المعادلتين السابقتين نحصل على مركبة التوافقية m والزاوية كالآتى :

$$C_m = \sqrt{A_m^{\,2} + B_m^{\,2}}$$

$$\phi_m = \tan^{-1}\frac{B_m}{A_m}$$

ويمكن التخلص من التوافقيات غير المرغوبة بإستخدام مرشحات ، كما يمكن تطبيق المعادلات السابقة للحصول على معاوقة وزاوية الخط لمتمم الوقاية المسافية الرقمى كالآتى :

تحسب المركبة الجيبية *(sine component)* ومركبة الجيب تمام *(Cosine component)* لموجتى الجهد V_c , V_s والتيار I_c , I_s الأساسية من المعادلات :

$$V_s = \frac{2}{N} \sum_{L=1}^{N} V_{K-N+l} \; \sin\left(\frac{2\pi}{N} l\right)$$

$$V_c = \frac{2}{N} \sum_{L=1}^{N} V_{K-N+l} \; \cos\left(\frac{2\pi}{N} l\right)$$

وبنفس الطريقة تكتب I_s , I_c ثم نحسب المعاوقة والزاوية كالآتى :

$$|Z| = \sqrt{\frac{V_s^2 + V_c^2}{I_s^2 + I_c^2}}$$

$$\phi = \arctan\frac{V_s}{V_c} - \arctan\frac{I_s}{I_c}$$

حيث ϕ الزاوية بين الجهد والتيار .

ويمكن تغيير طول نافذة المعطيات إلى *0.5* دورة وإتباع نفس الخطوات السابقة ، وذلك لتقليل تأثير التوافقيات الزوجية ومركبة التيار المستمر *D.C* .

4) بحساب تقنية العلاقة المتبادلة :

Algorithm Based on Cross Correlation Technique

تستخدم هذه الطريقة لكشف وعزل إشارات المدخل لنظام الوقاية . حيث تقارن إشارات المدخل بإشارة مرجع قياسية لها نفس تردد إشارات المدخل . بفرض أن $X(t)$ هى إشارة المدخل ، $Y(t)$ إشارة المرجع ، فإن R_{XY} يعرف بالمقارن أو دالة العلاقة المتبادلة ونحصل عليها من المعادلة :

$$R_{XY}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \; Y(t-\tau)$$

حيث τ : التأخير الزمنى .

T : زمن النافذة *(window time)* والذى تتم خلاله عملية المقارنة وعادة يساوى دورة واحدة للتردد الأساسى .

وبفرض أن :

$$Y(t) = \sin n\,\omega t$$

عندما $n=1$ نحصل على الكاشف الأساسى .

عندما $n=2$ نحصل على كاشف مركبة التوافقية الثانية .

بالتعويض عن $\tau = 0$ نحصل على المركبة الحقيقية *(Real component)* لإشارة المدخل $X(t)$ وهى :

$$X_{dn}(t) = R_{XY}(O) = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} X(t)\sin n\,\omega t\,dt$$

وبالتعويض عن $\tau = \frac{\pi}{2}$ نحصل على المركبة التخيلية *(Imaginary component)* لإشارة المدخل $X(t)$ وهى :

$$X_{qn}(t) = R_{XY}(\pi/2) = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} X(t)\cos n\,wt\,dt$$

تحول المعادلتين السابقتين من الشكل التكاملى إلى الشكل المناسب للإستخدام فى الكمبيوتر كالآتى :

$$X_{dn}(t) = \frac{1}{N}\sum_{l=K}^{N+K-1} X(lT/N)\sin(n\,\omega\,lT/N) \longrightarrow (10\text{-}7)$$

$$X_{qn}(t) = \frac{1}{N}\sum_{l=K}^{N+K-1} X(lT/N)\cos(n\,\omega\,lT/N) \longrightarrow (10\text{-}8)$$

حيث : T : زمن الدورة $= 2\pi/\omega$

N : عدد العينات بكل دورة .

وتستخدم عادة ، هذه الطريقة فى متممات الوقاية التفاضلية . فمثلاً ، يوضح شكل

$(10\text{-}45)$ الفكرة الأساسية للوقاية التفاضلية لمولد بتحليل التيارين I_1 , I_2 على جانبى المولد نحصل على :

$$I_1 = I_{d1} + jI_{q1}$$

$$I_2 = I_{d2} + jI_{q2}$$

نحصل على المركبات ..... I_{d1} , I_{d2} بالتعويض فى معادلات المركبة الحقيقية والتخيلية بـ $n = 1$

ويكون معيار التشغيل طبقاً للمعادلة :

$$/I_{op}/ \geq S\ /I_{res}/$$

حيث :

$$I_{op} = I_1 - I_2$$

$$I_{res} = I_1 + I_2$$

وتعرف S بعامل الحساسية *(Sensitivity factor)* والذى يؤخذ عادة بقيمة من *0.05* إلى *0.1* للوقاية التفاضلية للمولدات .

5) حساب توافقيات الوقاية *Harmonics Protection Algorithm*

إذا حدث عدم تماثل فى تيار العضو المنتج *(Armature)* للمولد نتيجة عطل غير متزن خارجى أو عدم إتزان أحمال فإن تيار ملف العضو الثابت *(Stator)* يحتوى على مركبة التتابعية السالبة *(Negative sequence)* ، هذا التيار يحدث تيار التوافقية الثانية فى ملفات العضو الدوار .

ويستخدم تيار التوافقية الثانية I_{f2} المار بملفات المجال بالإضافة إلى إتجاه مركبة التتابعية السالبة للقدرة P_2 على طرفى العضو الثابت لكشف الأعطال غير المتماثلة ، والتميز بين الأعطال الداخلية والخارجية .

يحلل تيار التوافقية الثانية إلى مركبة حقيقية وأخرى تخيلية :

$$I_{f2} = I_{df2} + jI_{qf2}$$

ونحصل على I_{df2} , I_{qf2} بالتعويض عن $n = 1$ فى معادلتى المركبة الحقيقية والتخيلية للعلاقة المتبادلة رقمى (10-8), (10-7)

بينما للحصول على مركبة التتابعية السالبة للقدرة يتبع الآتى :

تحول تيارات وجهود الثلاثة أوجه عند أطراف العضو الثابت إلى عينات ويعبر عن المركبة الأساسية للجهد والتيار بالمعادلات :

$$V_\phi = V_d + jV_q$$

$$I_\phi = I_d + jI_q$$

ونحصل على I_d , V_d , I_q , V_q بالتعويض فى معادلتى المركبة الحقيقية والتخيلية رقمى (10-8) , (10-7) بالقيمة $n=1$

وتكون معادلتا مركبة التتابعية السالبة للجهد والتيار كالآتى :

$$\bar{V} = \bar{V}_d + j\bar{V}_q$$

$$\bar{I} = \bar{I}_d + j\bar{I}_q$$

وبإستخدام نظرية المركبات المتماثلة *(Symmetrical component)* نحصل على

$$\bar{V} = \frac{1}{3}\{V_A + a^2V_B + aV_C\}$$

وبتحليل جهود الأوجه الثلاثة A , B , C إلى مركبة حقيقية وأخرى تخيلية وبالتعويض عن :

$$a = -0.5 - j\,\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -0.5 + j\,\frac{\sqrt{3}}{2}$$

نحصل على :

$$\bar{V}_d = \frac{1}{3}\{V_{dA} - \frac{1}{2}(V_{dB} + V_{dC}) + \frac{\sqrt{3}}{2}(V_{qB} - V_{qC})\}$$

$$\bar{V}_q = \frac{1}{3}\{V_{qA} - \frac{1}{2}(V_{qB} + V_{qC}) + \frac{\sqrt{3}}{2}(V_{dC} - V_{dB})\}$$

وبالمثل نحصل على :

$$\bar{I}_d = \frac{1}{3}\{ I_{dA} - \frac{1}{2}(I_{dB} + I_{dC}) + \frac{\sqrt{3}}{2}(I_{qB} - I_{qC})\}$$

$$\bar{I}_q = \frac{1}{3}\{ I_{qA} - \frac{1}{2}(I_{qB} + I_{qC}) + \frac{\sqrt{3}}{2}(I_{dC} - I_{dB})\}$$

وتكون مركبة التتابعية السالبة للقدرة على طرفى الآلة تساوى :

$$P_2 = \bar{V}_d \bar{I}_d + \bar{V}_q \bar{I}_q$$

يغذى متمم الوقاية ضد التوافقيات للمولد بالتيار I_{f2} بإعتباره إشارة التشغيل وبالقدرة P_2 بإعتبارها إشارة الكبح وتكون خاصية التشغيل للمتمم كما فى شكل *(10-46)* .

يمكن إتباع نفس الطريقة للوصول الى فكرة متمم الوقاية التفاضلى للمحولات حيث يتم أولاً تحويل التيار الثانوى (من عدد *6* محولات تيار مساعدة على جانبى المحول) إلى عينات ، ثم يحسب التيار التفاضلى لكل وجه .

بفرض أن I_A , I_B عينة التيار على جانبى المحول وبتحليل كل منهما إلى مركبة حقيقية وأخرى تخيلية تصبح تيارات المركبة الأساسية كالاتى :

$$I_{Af} = I_{dAf} + jI_{qAf}$$

$$I_{Bf} = I_{dBf} + jI_{qBf}$$

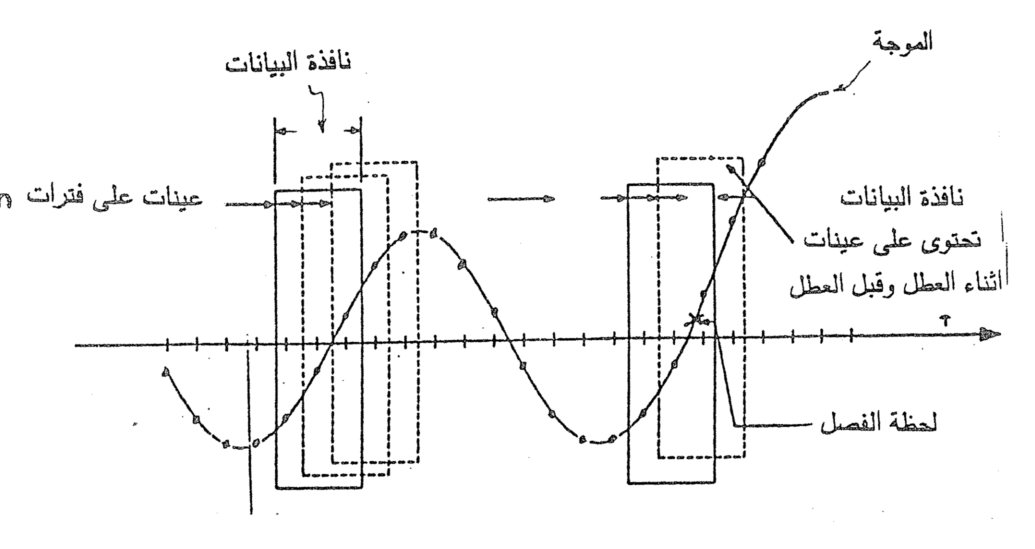
بإستخدام المعادلتين *(10-8)* , *(10-7)* وبالتعويض عن $n = 1$ نحصل على المركبات الأساسية للتيار .

بالمثل للحصول على تيارات التوافقية الثانية I_{AS} , I_{BS} نتبع الآتى :

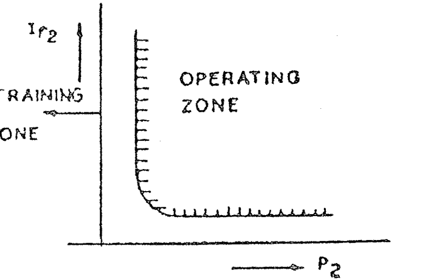
$$I_{AS} = I_{dAS} + jI_{qAS}$$

$$I_{BS} = I_{dBS} + jI_{qBS}$$

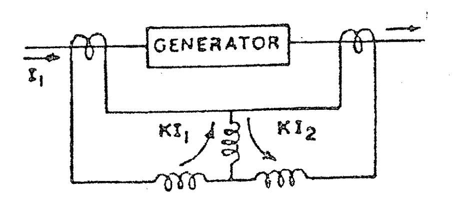
وبإستخدام المعادلتين *(10-8)* , *(10-7)* وبالتعويض عن $n = 2$ نحصل على تيار التوافقية الثانية للتيار على جانبى المحول .



شكل (10-44) نافذة البيانات



شكل (10-46) خاصية التشغيل للمتمم



شكل (10-45) الوقاية التفاضلية

وتكون حالة التشغيل ، أى الحصول على إشارة فصل من المتمم هى :

$$|I_A - I_B| \geq S_1 |I_A + I_B| + S_2 |I_S|$$

حيث : S_1 , S_2 : عامل الحساسية .

I_S : تيار التوافقية الثانية بالدائرة التفاضلية .

6) بحساب المعادلة التفاضلية *Differential Equation Algorithm*

تستخدم هذه الطريقة فى حسابات الوقاية المسافية ، حيث إفترضنا أن الخط عبارة عن دوائر متوالية على شكل *R-L* فتكون معادلة الجهد :

$$V = R_{eff} + L_{eff} \frac{di}{dt} \quad \longrightarrow (10\text{-}9)$$

وفى حالة تكامل المعادلة *(10-9)* بإستخدام قاعدة شبه المنحرف *(Trapezoidal Rule)* نحصل على R , L :

$$L = \frac{h}{2} \frac{(V_{K-1} + V_{K+2})(i_{K-1} + i_K) - (V_{K-1} + V_K)(i_{K-1} + i_{K-2})}{(i_{K-1} + i_K)(i_{K-1} - i_{K-2}) - (i_{K-1} + i_{K-2})(i_K - i_{K-1})}$$

$$R = \frac{(V_{K-1} + V_K)(i_{K-1} - i_{K-2}) - (V_{K-1} + V_{K-2})(i_K - i_{K-1})}{(i_{K-1} + i_K)(i_{K-1} - i_{K-2}) - (i_{K-1} + i_{K-2})(i_K - i_{K-1})}$$

الباب الحادى عشر
متممات التردد وطرح الحمل
LOAD-SHEDDING AND FREQUENCY RELAYS

مقدمة :

تنقسم الشبكات الكهربائية إلى أجزاء ومناطق (التوليد - النقل - التوزيع ...) لذا يجب التحكم فى تبادل القدرة بين مجموعات التوليد وبين الأحمال وذلك للحفاظ على تغيير فى تردد الموجة فى حدود ±1% (أى بين 49.5 , 50.5 Hz) ،

يعتمد تردد المولدات المتزامنة على السرعة ، وتؤدى زيادة الأحمال إلى إنخفاض التردد ، ويمكن التحكم فى ذلك عن طريق حاكم *(Governer)* التربينة (فى محطة التوليد) ، ويعرف ذلك بالتحكم الإبتدائى للتردد .

أما التحكم الثانوى للتردد فهو عبارة عن فصل (أو طرح) بعض الأحمال المختارة لمناطق بالشبكة الكهربائية . ويعتبر كل من التحكمين الابتدائى والثانوى أساسياً . وتستخدم متممات التردد لطرح الأحمال عند إنخفاض التردد وذلك على مراحل كل مرحلة يقابلها إنخفاض التردد بنسبة محددة .

فعند زيادة الأحمال بقيمة أعلى من أقصى توليد يبدأ التردد فى الإنخفاض ونبدأ فى فصل بعض أحمال التوزيع على مراحل ، وهذا ما يعرف بطرح الحمل *(Load shedding)* ، وينقذ طرح الحمل أجزاء الشبكة من فقد عملية التزامن *(Synchronism)*

وتستخدم متممات التردد للتحكم بين الحمل والتردد وتحتوى المتممات على مرحلتين أو ثلاثة أو أربعة مراحل . وتقيس هذه المتممات التردد f ومعدل التغير فى التردد df/dt . فند إنخفاض التردد ، يعمل المتمم ، ويعتمد زمن التشغيل على سرعة إنخفاض التردد .

التحكم فى التردد :

تتحقق حالة التشغيل المتزن ، عند التردد الأساسى ، للشبكة الكهربائية عندما يكون المجموع الكلى لقدرة المدخل الميكانيكية المستحدثة من المحركات الأساسية *(Prime movers)* للمولدات يساوى مجموع كل الأحمال مضافاً إليها كل مفقودات القدرة الحقيقية للشبكة ، أى أن .

$$\sum Generation = \sum Loads + \sum Losses$$

وإذا تحققت هذه المعادلة فلا يحدث تغيير فى سرعة أو تردد المولدات مع الزمن ، بينما فى حالة عدم تحقق هذه المعادلة فإن التغير يحدث فى التردد ، كما أن أى تغيير فى السرعة يسبب تغيير فى التردد .

ويتأثر حاكم المولد *(Governor)* بالتغير الطفيف فى السرعة الناتجة من التغيرات التدريجية فى الحمل ، حيث يضبط الحاكم قدرة المدخل الميكانيكية للحفاظ على التشغيل عند التردد الأساسى . فمثلاً عند حدوث زيادة فى الحمل تنخفض السرعة ، عندئذ يعمل الحاكم آلياً بحيث يسمح بزيادة كمية البخار *(Steam)* المار بالتربينة البخارية *(Steam turbine)* أو زيادة كمية المياه فى التربينة المائية *(Hydro turbine)* وهذا يؤدى إلى زيادة المخرج الكهربى والوصول بالتردد الجديد الى قيمة قريبة من التردد الأساسى . وتعرف عملية التحكم بواسطة الحاكم ، بالتحكم الابتدائى *(Primary Control)* للتردد .

ويبين شكل *(11-1)* تمثيل لجزء من الشبكة ، نجد أن قدرة التوليد فى أحد المولدين أقل من الأحمال ، بينما قدرة التوليد فى المولد الآخر أكبر من الأحمال ، كما يوجد ربط بين المولدين . فإذا كان المجموع الكلى للأحمال والمفقودات يساوى القدرة الميكانيكية للمدخل فإنه لا يحدث تغيير فى سرعة أو تردد المولد بالنسبة للزمن .

إذا حدث عطل مفاجئ على خط الربط ، فإن الطاقة الحركية *(Kinetic energy)* لمجموعة مولدات $G1$ تزيد لإمتصاص قدرة المدخل الزائدة ، وتزيد سرعة المولدات بينما سرعة المولدات $G2$ تقل . وبفرض أن كل من مخرج المولد والأحمال ثابتة مع التردد ، فإنه يمكن حساب متوسط معدل التغير فى التردد لفترة تردد محددة كالآتى :

$$R = \frac{PL(f_1 - f_0)}{H(1 \quad (f_1/f_0)^2)}$$

or

$$R = df/dt = function(L, H)$$

حيث :

R = متوسط معدل التغير فى التردد (Hz/s) أو (df/dt)

P = معامل القدرة للآلة .

L = متوسط زيادة الحمل *(Per unit)*

$$= \frac{\text{الحمل} - \text{قدرة المدخل}}{\text{قدرة المدخل}}$$

f_0 = التردد الأولى للفترة التى يحسب عندها R

f_1 = التردد النهائى للفترة .

H = ثابت القصور الذاتى *(Inertia)* (والذى يعرف بأنه النسبة بين عزم القصور الذاتى *Moment of inertia* وقدرة المولد) .

عموماً التحكم فى التردد فى الشبكات الكهربائية عن طريق حاكم المولدات لا يصل بالتردد الى قيمته الأصلية ، لذا كان التفكير فى إستخدام ما يعرف بالتحكم الثانوى *(Secondary control)* وذلك بإستخدام متممات الوقاية ضد إنخفاض التردد والتى تعمل على فصل بعض الأحمال عند ترددات معينة وعلى مراحل . بمعنى آخر عندما تصل المولدات إلى حالة زيادة الحمل *(Overload)* نتيجة أقصى مدخل قدرة ميكانيكية ، فيصبح من الضرورى فصل بعض الأحمال لضمان إستمرارية إتزان الشبكة وهو ما يعرف بعملية طرح الحمل *(Load shedding)* ويكون طرح الحمل الياً من خلال متممات الوقاية ضد إنخفاض التردد والمضبوطة عند ترددات محددة .

عادة يكون برنامج طرح الحمل يفصل الحمل على مرحلتين أو أربعة مراحل . وتضبط مرحلة أقصى تردد عند تردد أقل قليلاً من التردد الأساسى ، بينما تضبط مرحلة أقل تردد عند تردد أكثر قليلاً من التردد الذى بعده يمكن أن تفصل مساعدات محطات التوليد ، حيث لا يلزم فصل المساعدات لمحطات التوليد عند إنخفاض تردد الشبكة .

ويمكن تنظيم طرح الأحمال بحيث تكون فى مرحلة مسئولة عن فصل من 10% إلى 20% من الأحمال المتاحة .

ويعتمد عمل متممات الوقاية ضد إنخفاض التردد على معدل التغير فى التردد بالنسبة للزمن *df/dt* ويبين شكل *(2-11)* العلاقة بين التردد ومعدل التغير *df/dt* والذى يشير الى مراحل ضبط المتمم .

متممات الوقاية ضد إنخفاض التردد من النوع الكهرومغناطيسى

تغذى المتممات من الدوائر الثانوية لمحولات الجهد ، وفيما يلى توضيحاً لنوعين مختلفين :

أ) متمم الوقاية ضد إنخفاض التردد من النوع ذى القرص التأثيرى

Induction - Disc Under frequency Relay

يخضع القرص التأثيرى لفيضين تيار متردد *(2 A.C Fluxes)* تتغير الزاوية بينهما مع تغير التردد ، وعند إنخفاض التردد عن قيمة ضبط المتمم ، يحدث عزم فى إتجاه قفل نقطتى التلامس ، أما عند إرتفاع التردد عن قيمة الضبط فيكون العزم فى الإتجاه المعاكس مساعداً على إستمرارية فتح نقطتى التلامس .

ويوضح شكل *(3-11)* خاصية متمم ذو قرص تأثيرى ـ التردد المقنن *60 Hz* ـ قيمة الضبط *58 Hz* ـ يخضع لخاصية عكسية مع الزمن *(Inverse - time)* بفرض أن رافعة الزمن على الوضع *0.5* وأن قيم الثوابت كالآتى :

$L = 31\%$

$P = 0.85$

$H = 8$ للنظام

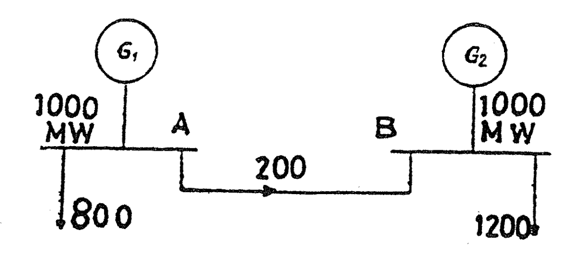
$f_0 = 58 Hz$

$f_1 = 60 Hz$

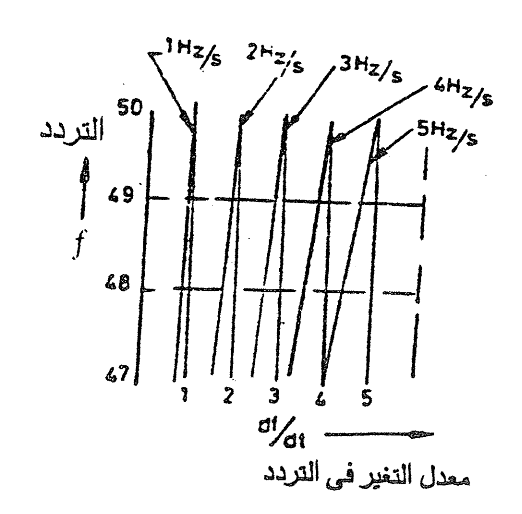
ثم نحسب متوسط معدل التغير فى التردد :

$$\therefore df/dt = R = -1 \ Hz/s$$

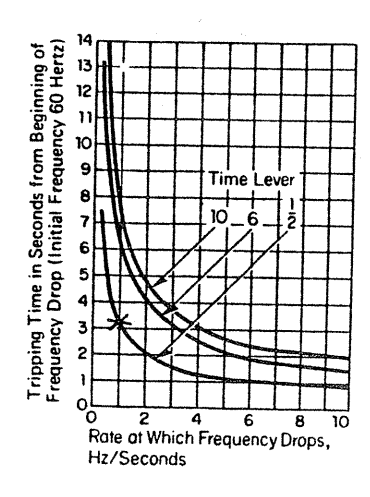
من شكل *(3-11)* نحصل على زمن إشتغال المتمم وهو *3.2* ثانية ثم نضيف إلى

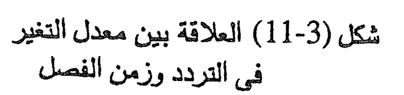


شكل (1-11) الاتصال بين محطتى A, B



شكل (2-11) مراحل متمم التردد
بدلالة معدل التغير فى التردد





شكل (3-11) العلاقة بين معدل التغير
فى التردد وزمن الفصل

زمن إشتغال المتمم زمن فتح قاطع التيار (0.1 S) فيكون الزمن الكلى 3.3 S والذى يقابله إنخفاض فى التردد أقل من التردد المقنن بالقيمة df كالآتى :

$$df = 1 * 3.3 = 3.3 \, Hz$$

أى التردد الذى يعمل عنده المتمم 56.7 Hz هذا مثال لنظام ذى تردد 60 Hz ويمكن القيام بنفس الحسابات لنظام ذى التردد 50 Hz بنفس الطريقة مع الأخذ فى الإعتبار ثوابت النظام .

ب) متمم الوقاية ضد إنخفاض التردد من النوع ذى الإسطوانة التأثيرية

Induction-Cylinder Under Frequence Relay

تخضع الأسطوانة لفيضين تيار متردد *(2 A.C fluxes)* وتتغير الزاوية بينهما مع تغيير التردد ، ويضبط المتمم عند قيمة تردد معينة (أقل من التردد المقنن) عند إنخفاض تردد المصدر عن القيمة المضبوطة يتسبب العزم الناتج فى قفل نقطتى تلامس المتمم ، بينما عند التردد المقنن أو التردد الأعلى فإن العزم الناتج يؤدى إلى إستمرارية فتح نقطتى التلامس .

متممات الوقاية ضد إنخفاض التردد من النوع الاستاتيكى :

تمتاز المتممات الاستاتيكية بخاصية العول *(Reliability)* والدقة العالية بالإضافة إلى سرعة القياس العالية (أى سرعة التشغيل) ، وقد أمكن الحصول على هذه المميزات بإستخدام مذبذب ببلورات الكوارتز *(Quartz-Crystal oscillator)* . ويوضح شكل *(11-4)* تمثيل لمكونات متمم ضد إنخفاض التردد من النوع الاستاتيكى، ويتكون من:

1) مرشح يتغذى من الجهد الثانوى لمحولات الجهد .

2) كاشف التقاطع الصفرى *(Zero-crossing detector)* : والذى نحصل منه على نبضة مخرج عند تقاطع موجة الجهد الموجبة بمحور الزمن ويدل مكان النبضة على طول فترة موجة المدخل .

3) عداد ثنائى ذو 16 بت *(16-Bit binary counter)* : تستخدم النبضة كإشارة إطلاق *(Trigger)* لدائرة العداد والذى يغذى أيضاً من مذبذب البلورات ذات النبضات عند تردد 1.96 MHz

4) كاشف فترة الدورة *(Period detector)* : يقارن الكاشف بين مخرج العداد وبين قيمة ضبط التردد .
5) مؤقت *(Timer)* : يضبط على قيمة التأخير الزمنى للفصل .
6) كاشف إنخفاض الجهد *(Under voltage detector)* : عند إنخفاض الجهد إلى قيمة مضبوطة على المتمم يعمل الكاشف على منع إشتغال المتمم بإنخفاض التردد .

ويبين شكل *(11-5)* خاصية المتمم الموضح مكوناته بشكل *(11-4)* .

بفرض أن :

$H = 2$

$L = 38.5\ \%$

$P = 0.85$

بتسجيل قيمتى L , H على النوموجرام بشكل *(11-5)*ب وإسقاطه على محور معدل التغير فى التردد بشكل *(11-5)*أ نحصل على :

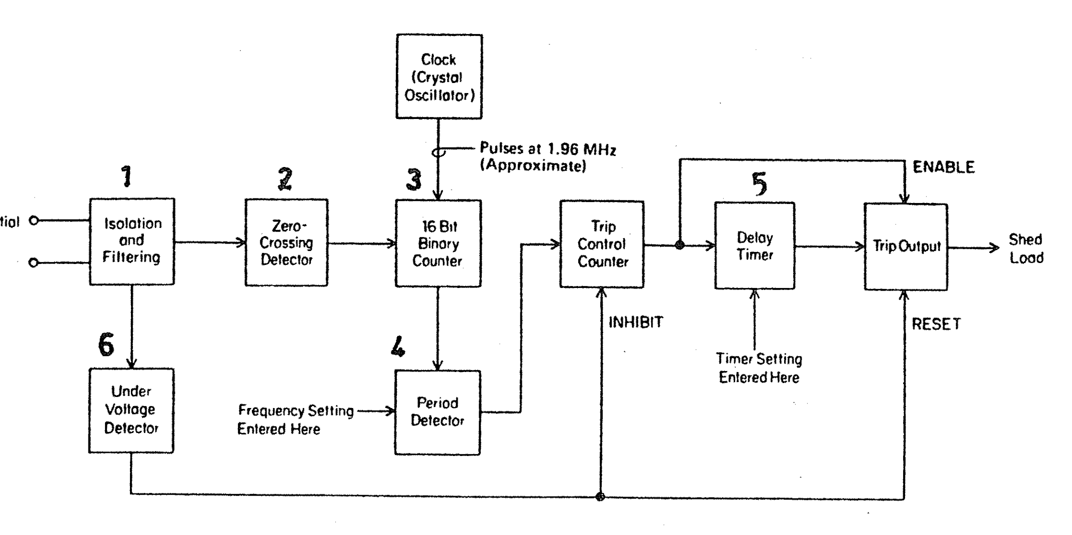
$$df/dt = R = 5 \qquad Hz/s$$

بفرض أن المتمم مضبوطاً على تأخير زمنى *3 Cycles* (أى *50 ms*) وكان زمن قاطع التيار *5 Cycles* فيكون الزمن الكلى *8 Cycles* لذا يستخدم منحني التأخير الزمنى لعدد *8 Cycles* بشكل *(11-5)*أ ومنه نستنتج أن فصل الحمل يحدث عندما ينخفض التردد بالقيمة *0.83 Hz* عن قيمة الضبط على المتمم . فمثلاً إذا كان الضبط عند القيمة *59.5 Hz* فإن المتمم يعمل عند التردد :

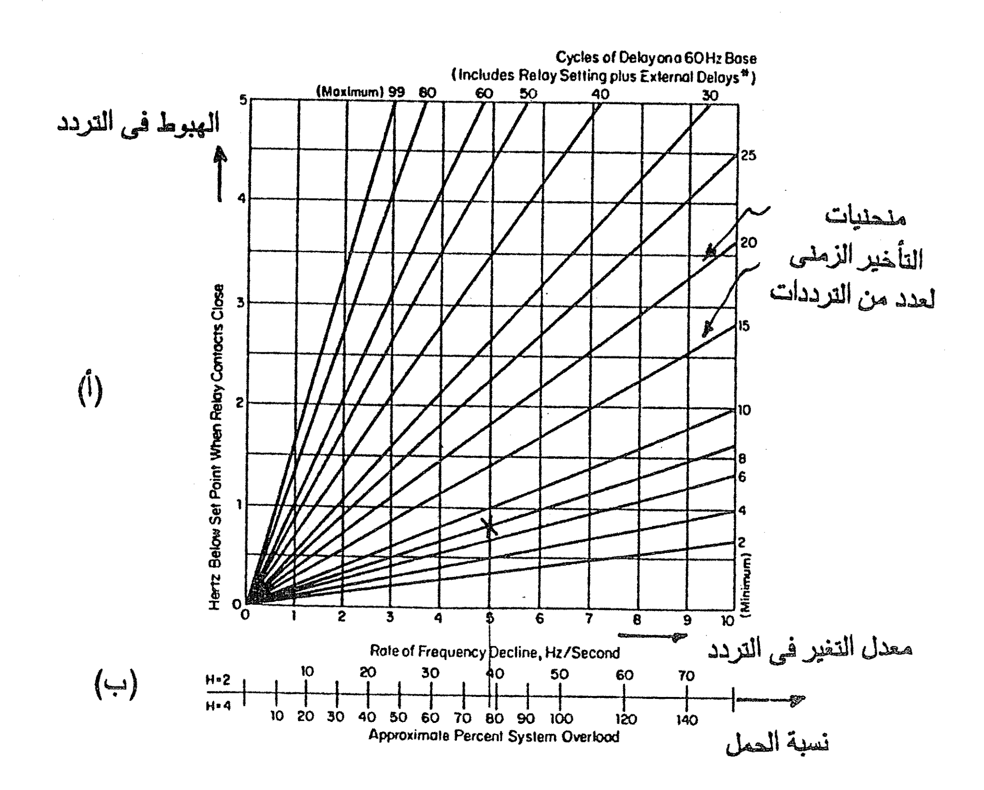
$$59.5 - 0.83 = 58.67\ Hz$$

ويكون الزمن الكلى منذ حدوث إنخفاض الجهد وحتى فصل الحمل كالآتى :

$$\frac{60\ Hz - 58.67\ Hz}{5\ Hz/S} = 0.27\ Sec.$$



شكل (11-4) مكونات متمم الوقاية ضد إنخفاض التردد الاستاتيكى



شكل (11-5) خاصية المتمم الموضح فى شكل (11-4)

الباب الثانى عشر
إعادة التوصيل التلقائى
AUTO RECLOSURE

تكون أغلب الأعطال التى تتعرض لها الخطوط الهوائية لنقل القدرة هى الحالات العابرة *(Transient)* . وقد وجد عملياً أن حوالى *90%* من الأعطال الحادثة على الخطوط الهوائية تنتج من الصواعق *(Lightning)* أو من مرور لحظى لأجسام قريبة من أو بين الخطوط مثل الطيور وأفرع الأشجار ... تمثل هذه الأعطال بأعطال القوس *(Arcing faults)* ويخمد القوس بفصل قاطعى التيار على جانبى الخط المعطل أو بفصل أحد القاطعين . بعد فترة زمنية قصيرة جداً يزول هذا العطل الطارئ ويكون الخط جاهزاً لإعادة تشغيله . إعادة إشتغال الخطوط لضمان إستمرارية التغذية الكهربائية يعتبر أعظم مميزات نظام إعادة التوصيل الآلى . ويبين شكل *(12-1)* تمثيل لتتابع خطوات حدوث العطل وفصل القواطع وإعادة التوصيل التلقائى للقواطع وإستمرارية حالة التوصيل حال زوال العطل بينما يعيد فصل القاطع إذا كان العطل حقيقى ومازال على الخط .

ويكون الفصل السريع جداً وإعادة التوصيل التلقائى السريع جداً لقواطع التيار من أكبر المميزات لإستقرار الشبكات الكهربائية .

يستخدم نظام إعادة التوصيل التلقائى لكل من الخطوط الهوائية ذات الجهود المتوسطة (شبكات التوزيع) والجهود الفائقة . ويجب مراعاة عدم إمكانية إستخدام نظام إعادة التوصيل التلقائى فى الحالات الآتية :

* الكابلات الأرضية .
* الكابلات المعزولة بالغاز .
* قواطع تيار المولدات .
* .....

بعض التعريفات الشائعة الإستخدام فى نظام إعادة التوصيل التلقائى لقواطع

التيار :

1) إعادة التوصيل التلقائى مرة واحدة *(Single shot autoreclosing)*

بعد فصل قاطع التيار ، ، يتم إعادة التوصيل آلياً مرة واحدة فقط وإذا فصل قاطع التيار مرة أخرى لا يعاد توصيله آلياً .

2) إعادة التوصيل السريع تلقائياً *(Rapid, high speed, autoreclosing)*

بعد فصل قاطع التيار ، يتم إعادة التوصيل آلياً من خلال نظام معين ، فى حوالى 0.3 ثانية .

3) إعادة التوصيل ببطئ تلقائياً *(Delayed, low speed, autoreclosing)*

بعد فصل قاطع التيار ، يتم إعادة التوصيل آلياً من خلال نظام معين ، فى حوالى 1 ثانية .

4) الإغلاق *(Lock-out)*

يمنع توصيل قاطع التيار بعد عملية الفصل الثانية .

5) دلالة الأزمنة *(Time designations)*

أ) زمن عزل العطل *(Fault clearing time)* (T_f)

هو الزمن بين حدوث العطل ونهاية إخماد القوس بقاطع التيار .

ب) زمن المتمم *(Relay time)* (T_r)

هو الزمن بين حدوث العطل وقفل نقط تلامس الفصل (أو توصيل جهد لتشغيل ملف الفصل) .

ج) زمن فتح قاطع التيار *(Opening time of C.B)* (T_o)

هو الزمن بين إمداد ملف الفصل بالجهد وفتح نقط التلامس لقاطع التيار .

د) زمن قوس قاطع التيار *(Arcing time of C.B)* (T_a)

هو الزمن بين عزل نقط تلامس قاطع التيار ووصول قيمة التيار للصفر .

هـ) الزمن الكلى لعزل العطل = زمن المتمم + زمن قاطع التيار .

أى أن :

$$T_f = T_r + T_{cd}$$
$$= T_r + (T_o + T_a)$$

و) الزمن الساكن لقاطع التيار *(Dead time of C.B)* (T_d)

هو الزمن بين وصول تيار الفصل الأول للقاطع للقيمة صفر وبين تلامس نقط التلامس لعملية إعادة التوصيل الآلى اللاحق .

س) زمن منع التأين *(Deionizing time)* (لأعطال خطوط نقل القدرة)

هو زمن منع تأين فراغ القوس بعد فتح قاطع التيار .

ويعتمد هذا الزمن على عوامل متعددة منها قيمة تيار العطل، وجهد التشغيل ، والمسافة بين الموصلات و .... ويعتبر أهم العوامل هو جهد الخط .

يوضح جدول رقم *(12-1)* قيم نموذجية لزمن منع التأين لقوس كهربى فى الهواء طبقاً لجهد الخط .

جدول *(12-1)*

أقل زمن منع التأين *Seconds*	الجهد المقنن للخط *KV*
0.10	66
0.15	110
0.17	132
0.28	220
0.30	275

ص) زمن إضطراب النظام *(System disturbance time)*

هو الزمن بين حدوث العطل وعملية إعادة التوصيل التلقائى الناجحة للقاطع .

ع) زمن الإسترداد *(Reclaim time)*

هو أقل زمن مسموح بين دورات إعادة التوصيل الناجحة . ويبين الشكلين *(12-2)* , *(12-3)* تمثيل وتوضيح لتعريفات الأزمنة .

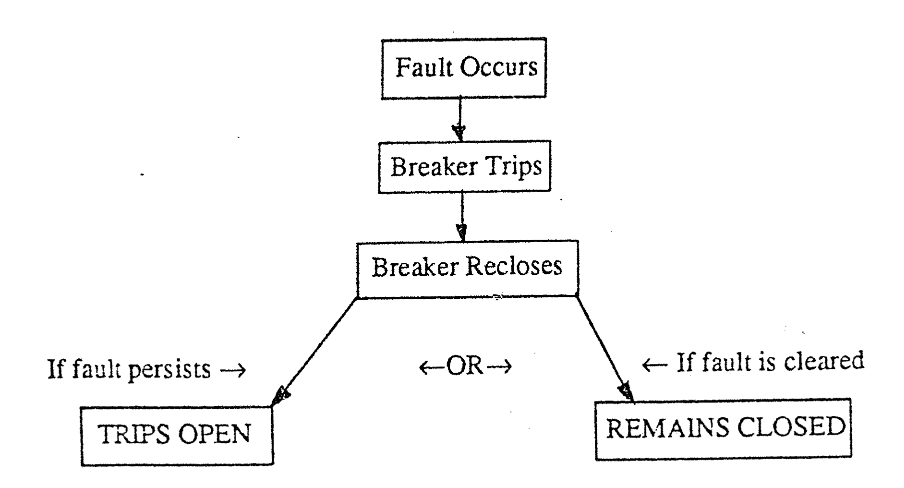
إعادة التوصيل التلقائى لقواطع التيار ذات الجهود الفائقة لخطوط نقل القدرة

Auto-Reclosure of EHV Circuit Breakers for Transmission Lines

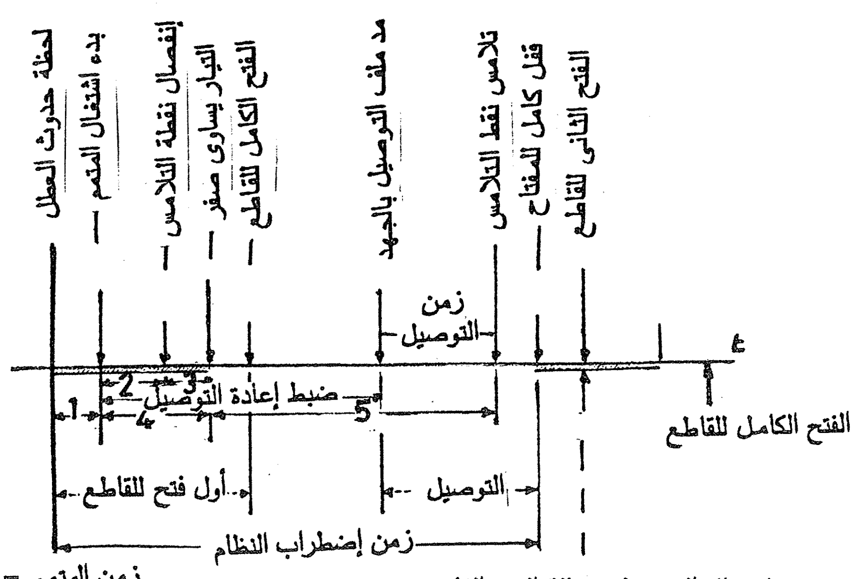
تكون مقننات قواطع التيار كالآتى :

الجهد المقنن : من 36 إلى 245 ك.ف

سعة القطع : من 25 إلى 40 ك.أ .



شكل (1-12) تمثيل خطوات إعادة التوصيل التلقائى للقاطع



1 T_r = زمن المتمم

2 T_o = زمن التشغيل

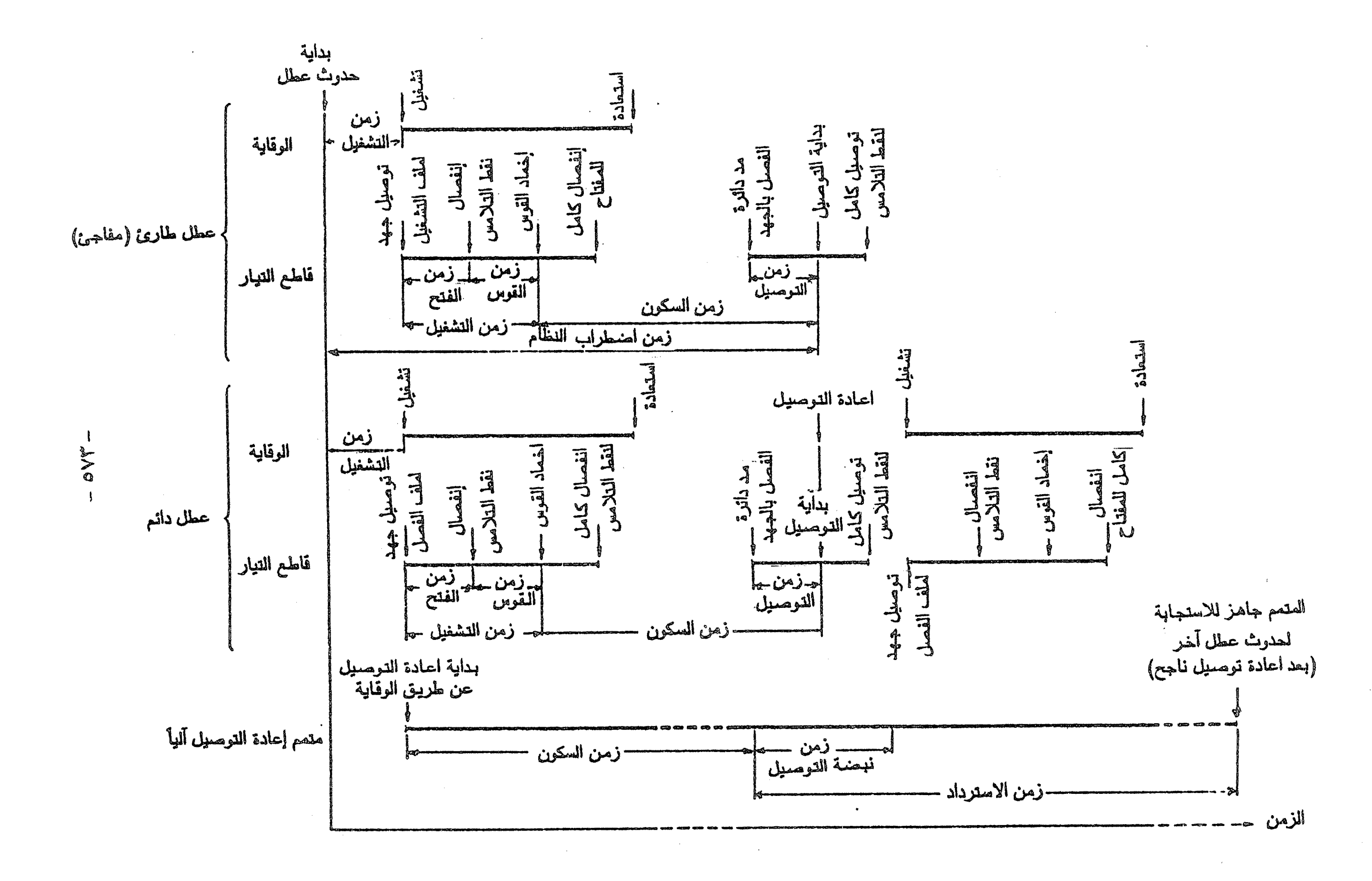
3 T_a = زمن القوس

4 T_{cd} = زمن قاطع التيار

5 T_d = زمن السكون

اشتغال المتمم فى حالة الفتح الثانى للقاطع إذا كان العطل موجوداً

شكل (2-12) تتابع أحداث اعادة التوصيل التلقائى مرة واحدة « الوقاية ـ ٢ »



شكل (3-12) الازمنة المختلفة لعمليات حدوث عطل / عطل دائم / متمم إعادة التوصيل التلقائى

يبين شكل *(12-4)* العلاقة بين الزمن ومدى تحرك نقط تلامس قاطع التيار فى حالات : الفصل ، والتوصيل ، وإعادة التوصيل التلقائى .

وقد وجد عملياً أن *0.2* ثانية هو الزمن الذى يسمح بإزالة منطقة العطل لتصبح غير متأينة بالكامل ، ولذا يفضل إختيار الزمن الساكن لقاطع التيار حوالى *0.3* ثانية لضمان أمان الزمن الكافى لإعادة التوصيل تلقائياً .

ويبين شكل *(12-5)* وجدول *(2-2)* توضيح لمراحل حركة قاطع التيار والزمن المقابل لكل مرحلة فى حالتى إزالة العطل وإعادة التوصيل تلقائياً .

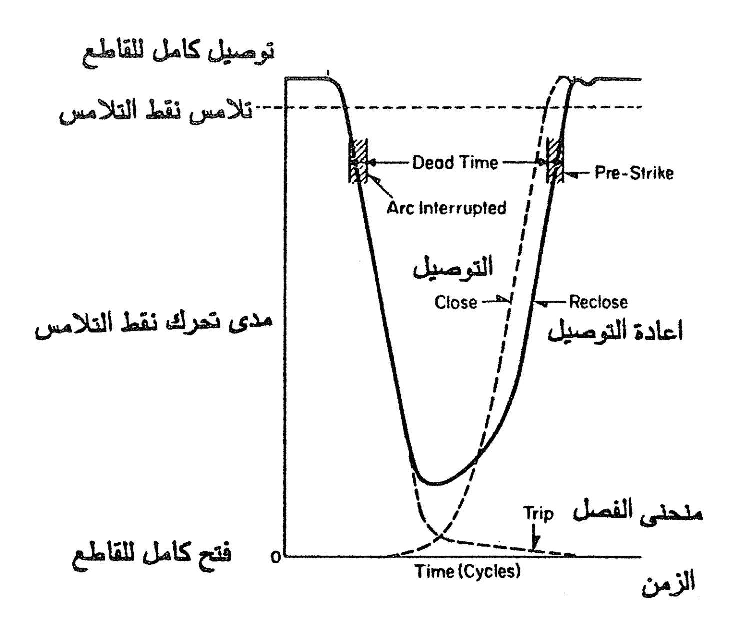
يجب أن يكون قاطع التيار المستخدم سريع فى حالتى الفصل والتوصيل ، وأن يتم لحظياً إعادة التوصيل التلقائى لقاطعى التيار على جانبى الخط . والغرض الرئيسى من إستخدام عملية إعادة التوصيل التلقائى لقواطع التيار هو إعادة إستقرار *(Stability)* الشبكة .

ويراعى أن يكون زمن إعادة التوصيل التلقائى لقواطع التيار ذات الجهود الفائقة طبقاً للأتى :

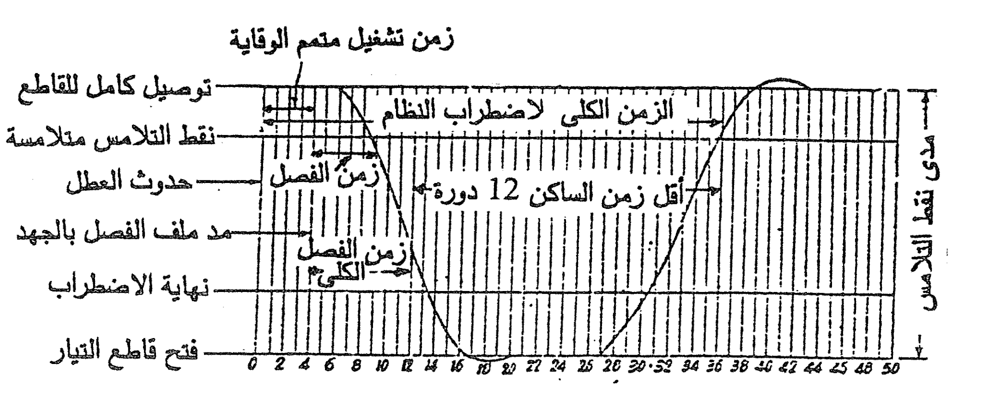
1) أن يكون الزمن صغيراً جداً وذلك للتغلب على الفقد المتزامن *(Loss of synchronism)* بين أى من جانبى قاطع التيار .
2) يجب منع التأين داخل القاطع ، قبل السماح بإعادة التوصيل التلقائى .
3) يجب أن يكون إعادة التوصيل التلقائى لقاطعى التيار لحظياً .
4) يعتمد زمن منع التأين على تيار القصر وجهد النظام .
5) يجب أن تتحمل قواطع التيار الإجهادات الكهروديناميكية *(Electro-dynamic stress)* عند إعادة التوصيل ومازال العطل موجوداً .

إعادة التوصيل التلقائى لخطوط التوزيع (للجهود حتى *33* ك.ف)

للخطوط الهوائية ذات الجهود *11, 15, 22, 33* ك.ف يستخدم إعادة التوصيل التلقائى لنفس الأسباب التى ذكرت فى خطوط الجهود الفائقة . ويفيد إستخدام نظام إعادة التوصيل التلقائى فى الحفاظ على إستمرار التغذية الكهربائية . وعادة يتم إعادة التوصيل التلقائى ثلاثة مرات لأزمنة من *15* إلى *120* ثانية . وإذا فصل القاطع بعد عملية التوصيل الثالثة فإنه يظل مفصولاً وبالتالى فإن العطل لايزال موجوداً على



شكل (4-12) سلوك قاطع التيار

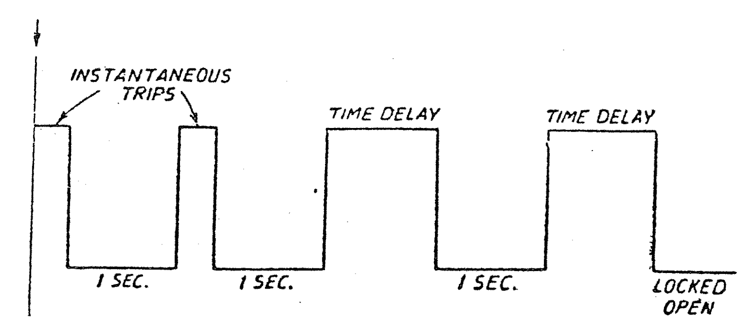


شكل (5-12) مراحل حركة قاطع التيار والزمن المقابل لكل مرحلة

جدول (2 - 12)

تتابع المراحل Sequence	الزمن 1/100 sec.	التشغيل Operation	ملاحظات
1	0	حدوث العطل	قاطع التيار مقفول ، وتبدأ متممات الوقاية فى الإشتغال
2	0 - 4	زمن المتمم	تشغيل سريع للمتمم
3	4	إستكمال دائرة الفصل	تبدأ الحركة الميكانيكية فى الفتح
4	4 - 9	زمن الفتح لقاطع التيار	————
5	9 - 12	زمن الفتح الكلى	للقاطع 4 cycles
6	12 - 36	الزمن الساكن	12 cycles لمنع التأين يظل القاطع مفتوحاً
7	27	بداية قفل نقط التلامس	————
8	36	تلامس نقط التلامس لإعادة التوصيل	————
9	40	إعادة توصيل قاطع التيار	يمكن أن يفتح القاطع مرة أخرى إذا كان العطل مازال موجوداً ويحدث للقاطع فتح - إغلاق
10	إستكمال إعادة التوصيل مرة واحدة - يظل القاطع مقفول مادام العزل قد تلاشى.		

الخط ، ويبين شكل *(12-6)* دورة إعادة التوصيل التلقائى لقاطع تيار جهد *11* ك.ف يغذى شبكة هوائية .



شكل (12-6) دورة تتابع اعادة التوصيل الآلى لقاطع تيار جهد متوسط

متمم إعادة التوصيل التلقائى :

إن عنصر إعادة التوصيل التلقائى إما أن يكون جزءاً من متمم الوقاية الأساسى المركب على الخط (وقاية مسافية - تفاضلية - ضد زيادة التيار - مقارنة الإتجاه - مقارنة الزاوية) أو أن يكون متمماً مستقلاً ومرتبطاً مع متمم الوقاية للخط . ويصنف متمم إعادة التوصيل إلى .

* أحادى الوجه .
* ثلاثى الوجه .

أو يصنف إلى :

* إعادة التوصيل السريع .
* إعادة التوصيل بتأخير زمنى .

ويتم إختيار متمم إعادة التوصيل السريع لخطوط نقل القدرة التى يسبب فصلها لفترة زمنية فقد تزامنى *(Loss of synchronism)* للشبكة ، بينما يفضل إستخدام متمم إعادة التوصيل بتأخير زمنى لخطوط نقل القدرة فى الشبكات الكبيرة المتصلة والتى لا يتأثر إستقرار الشبكة جوهرياً بإعادة التوصيل بعد فترة زمنية.

يتم تشغيل متمم (أو عنصر) إعادة التوصيل التلقائى بإحدى الطرق الآتية :

1) عن طريق نقط التلامس المساعدة لقاطع التيار .

يفصل قاطع التيار عند حدوث عطل على الخط ، ويتغير وضع نقط التلامس المساعدة للقاطع ، فتعمل نقط التلامس المساعدة (المقفلة) على إستكمال دائرة بداية التشغيل لإعادة التوصيل التلقائى للقاطع .

2) عن طريق نقط تلامس متمم الوقاية :

«تفضل هذه الطريقة حيث أنها تمنع التوصيل غير المقصود» .

عند حدوث عطل على الخط ، يعمل عنصر تشغيل البداية *(Starting element)* بمتمم الوقاية المسافية مثلاً ، ويعطى بداية التشغيل لنظام إعادة التوصيل التلقائى للقاطع .

بعض نظم إعادة التوصيل التلقائى تحتوى على :

أ) عنصر فحص التزامن *Synchrochech*

حيث يكون من الضرورى ، قبل إعادة التوصيل ، التأكد من تحقيق شروط التزامن:

* زاوية الإختلاف بين الجهود .
* قيمة الجهد .
* قيمة التردد .

ب) إضافة أى نظام وشائج *Interlock*

مثلاً فى قواطع التيار التى تعمل بالهواء المضغوط ، يضاف مفتاح إنخفاض الضغط على التوالى مع نقط تلامس عنصر بداية التشغيل لمتمم الوقاية وعنصر إعادة التوصيل ، بحيث لا يمكن إعادة التوصيل تلقائياً إذا كان ضغط الهواء منخفض.

يوضح شكلان *(8-12) , (7-12)* تمثيلاً للربط بين قاطع التيار ومتمم الوقاية وإعادة التوصيل . عند حدوث العطل *F* فإن متمم الوقاية يبدأ فى الإشتغال ، وإذا إستمر العطل حتى إنتهاء زمن متمم الوقاية ، فإن أمر الفصل *D* يحدث فوراً . وبعد إنتهاء زمن السكون *tp* لمتمم إعادة التوصيل يفتح قاطع التيار .

وعند إنتهاء زمن السكون *tp* ينتقل أمر التوصيل لقاطع التيار . فى نفس اللحظة

يبدأ زمن الإسترداد . أما إذا ظل العطل بعد إعادة التوصيل فإن أمر التوصيل يلغى فوراً ويصبح القاطع فى حالة إغلاق *(Lock out)* . عندما يفصل القاطع ، فإنه يمكن حدوث إنخفاض فى الضغط لحظياً ، ويمكن أن يؤدى هذا إلى منع إشتغال إعادة التوصيل على طريق الإشارة *RDY*

لا تحدث الإشارة *RDY* بين زمن حدوث العطل وإستكمال أمر إعادة التوصيل .

متمم إعادة التوصيل التلقائى من النوع الكهروميكانيكى

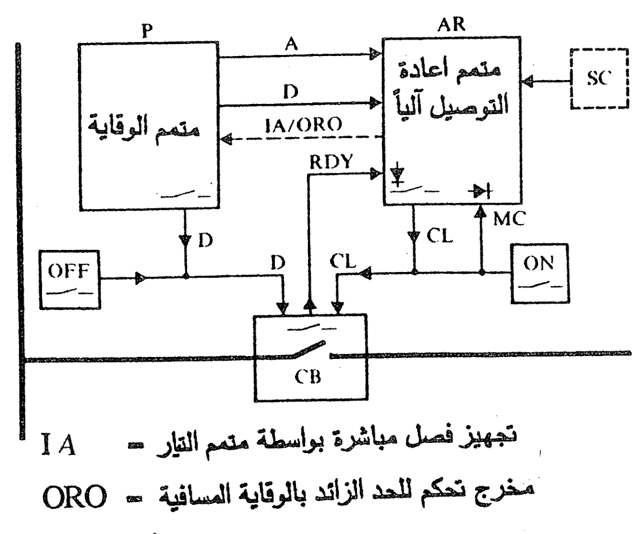
يبين شكل *(9-12)* تمثيل لدائرة متمم إعادة التوصيل التلقائى ـ مرة واحدة ـ من النوع الكهروميكانيكى *(Electromechanical reclosing relay)* وإتصاله بدائرة قاطع تيار .

إذا فصل قاطع التيار عن طريق نقط تلامس متمم الوقاية *10 / SC* ، عندئذ تبدأ عملية إعادة التوصيل للقاطع . ويمد ملف متمم التحكم بالقاطع *52x* بجهد التشغيل من خلال نقط التلامس *79x , 101sc , 43 , 52Lc , 52 Lpc , 52y* تقفل نقط التلامس $52x_1$ وتمد ملف التوصيل *52cc* للقاطع بجهد التشغيل فيتم توصيل القاطع . وفى نفس الوقت تقفل نقط التلامس $52x_2$ وتمد الملف *52y* بجهد التشغيل ، وأيضاً تقفل نقط التلامس $52x_3$ لتغذية وحدة الإغلاق *79x* بالجهد . ويؤدى هذا إلى فتح نقط التلامس *79x* فى دائرة التوصيل . وتقفل نقط التلامس *79x* فى دائرة محرك الإستعادة *(Reset motor)* . مع قفل القاطع ، فإن نقط التلامس *52a* تمد الملف *52y* بجهد التشغيل وتقطع التغذية عن الملف *52x* (عن طريق فتح نقط التلامس *52y*) .

إذا ظل القاطع مقفولاً ، فإن نقط التلامس *52a* تظل موصلة وتمد المحرك بالجهد. بعد فترة زمنية مضبوطة على المتمم ، فإن نقط تلامس محرك المؤقت *79M* تمد ملف الإستعادة *79X-R* بالجهد .

إذا فصل قاطع التيار مرة ثانية فإن نقط التلامس *52a* تفتح وتقطع التغذية عن المحرك *79M* ويصبح المتمم فى حالة منع إشتغال .

وتعود الحالة الطبيعية للمتمم عندما يتم توصيل قاطع التيار يدوياً ، ويصبح محرك المؤقت فى حالة إستعادة .

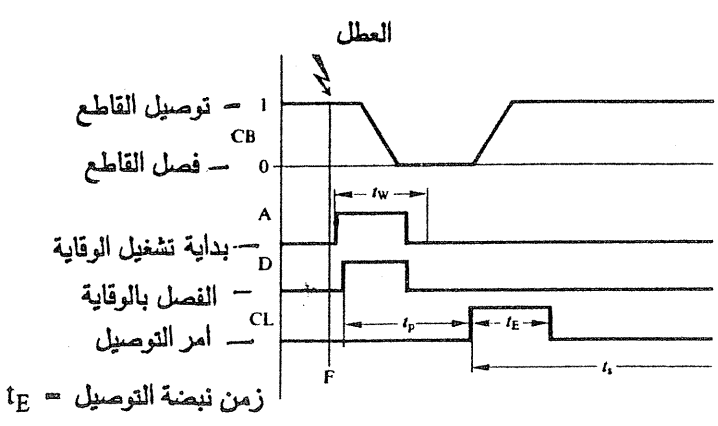


IA = تجهيز فصل مباشرة بواسطة متمم التيار

ORO = مخرج تحكم للحد الزائد بالوقاية المسافية

MC = توصيل يدوياً

شكل (12-7) تمثيل للربط بين متمم الوقاية ومتمم اعادة التوصيل آلياً وقاطع التيار



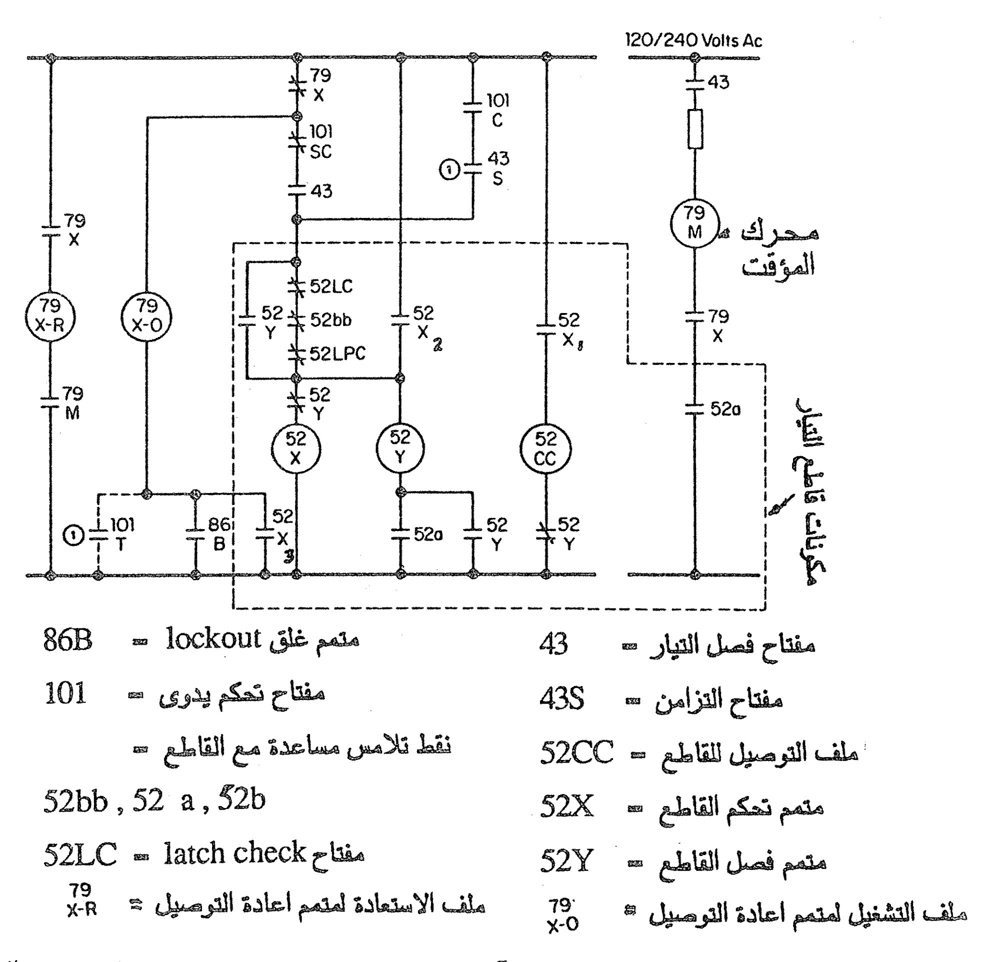
t_E = زمن نبضة التوصيل

t_p = زمن السكون

t_s = زمن الاسترداد

t_w = زمن العطل

شكل (12-8) تتابع التشغيل فى حالة عملية اعادة التوصيل الناجحة



شكل (12-9) دائرة متمم اعادة التوصيل الآلى من النوع الكهروميكانيكى واتصاله بدائرة قاطع التيار

متمم إعادة التوصيل التلقائى من النوع الاستاتيكى

يوضح شكل *(12-10)* دائرة أحد متممات إعادة التوصيل التلقائى من النوع الاستاتيكى وإتصالها بدائرة قاطع التيار .

يعتمد تشغيل متمم إعادة التوصيل التلقائى الموضح بشكل *(12-10)* على وضع نقط التلامس *52b* (نقط التلامس المساعدة مع القاطع) .

* قاطع التيار مقفل ، نقط التلامس *52b* مفتوحة :

يوجد مدخل *"1"* على دائرة المدى الواحد *Single shot* ومخرج *"1"*

المخرج العلوى لدائرة النطاط *Flip flop* يكون *"1"*

مخرج المكبر العلوى Amp_1 يكون *"0"*

لا يعمل عنصر المخرج *CR*

تظل نقط التلامس *CR* مفتوحة

المخرج السفلى لدائرة النطاط يكون *"0"* مسبباً إضاءة لمبة البيان *A* والتى تعطى دلالة لحالة المنع .

* قاطع التيار إنفصل عن طريق متمم الوقاية ، نقط التلامس *52b* مقفولة المدخل والمخرج على دائرة المدى الواحد يكونا *"0"*

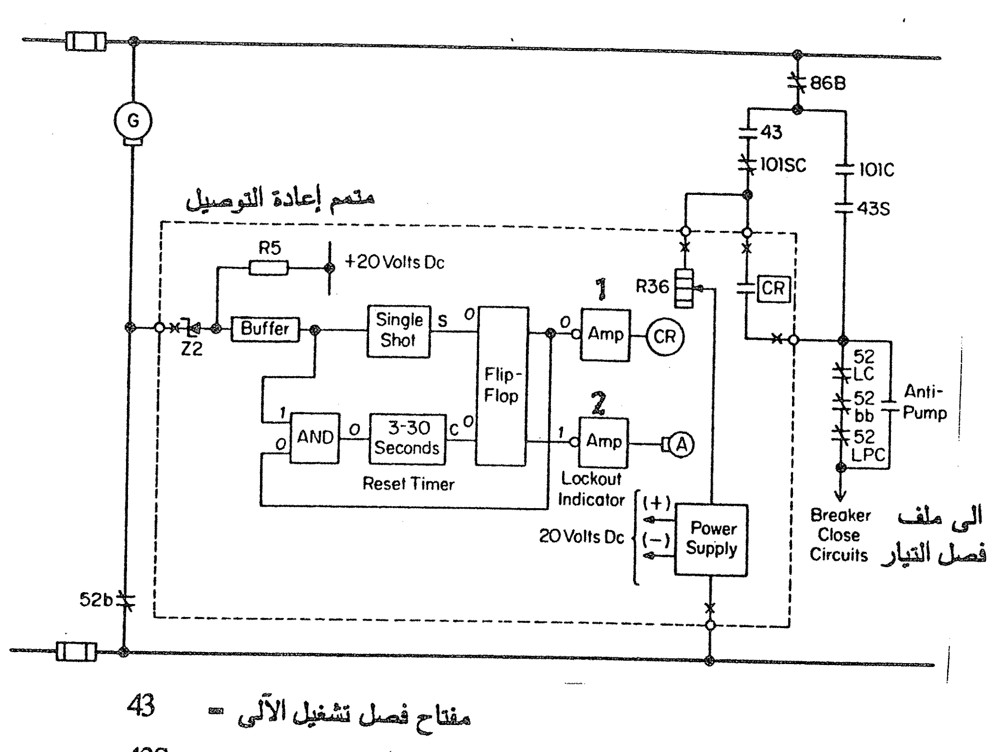
ويكون المخرج العلوى لدائرة النطاط *"0"*

مخرج المكبر العلوى يكون *"1"*

يمد الملف *CR* بجهد تشغيله ويقفل نقط التلامس *CR* لتكتمل دائرة التوصيل للقاطع - ويعاد توصيله تلقائياً .

إذا ظل القاطع مقفولاً ، فإن مدخلى الدالة *AND* يكونا *"1"* ونحصل منها على مخرج لمؤقت الإستعادة *(Reset timer)* فإذا إستمر الوضع لزمن الإستعادة (من *3* إلى *30* ثانية) فنحصل على مخرج يغذى المدخل السفلى لدائرة النطاط فيحدث إستعادة لدائرة النطاط وتطفئ لمبة البيان *A* .

إذا حدث وفصل قاطع التيار مرة أخرى قبل إنتهاء زمن مؤقت الإستعادة فعن طريق نقط التلامس *52b* يكون مدخل الدالة *AND* *"1"* مؤدياً توقيف ومنع الإستعادة.



43 = مفتاح فصل تشغيل الآلى

43S = مفتاح التزامن

86B = lockout متمم غلق

101 = مفتاح تحكم يدوى

CR = CR نقط تلامس المتمم

52PC = نقط تلامس الكشف عن انخفاض ضغط القاطع

52LC = latch check مفتاح

شكل (12-10) دائرة متمم إعادة التوصيل التلقائى من النوع الاستاتيكى واتصاله بدائرة قاطع التيار

REFERENCES :

1- *Switchgear and Protection*
SUNIL S. RAO

2- *Applied Protective Relaying*
Westinghouse Electric Corporation
Relay-Instrument Division
Newark, N. J. 07101

3- *The Art and Science of Protective Relaying*
C. Russell Mason

4- *Power System Protection*
S.P. PATRA S. K. BASU S. CHOUDHURI
Department of Electrical Engineering, Jadavpur University

5- *Power System Protection*
Volume 1
Edited by the Electricity Council
London

6- *Power System Protection*
Volume 2
Edited by the Electricity Council
London

7- *Power System Protection and Switchgear*
B. Ravindranath
M. Chander
Malaviya Regional Engineering College Jaipur

8- *Protective Relays : Their Theory and Practic.*
Volume 1
By : A.R. VAN C. WARRINGTON

9- *Protective Relays : Their Theory and Practic*
Volume 2
By : A.R. VAN C. WARRINGTON

10-*Power System Protection*
Static Relays
Ts MADHAVA RAO

11-*Protective Relaying*
Principles and Applications
J. Lewis Blackburn

12-*Electrical Instalation Handbook Editor Günter G. seip*

13-*Power System Protection*
1) Principles and Components
2) Systems and Methods
3) Applications
Edited by :
The Electrical Council
Peter Peregrinus Ltd.

للمؤلفة :

١) المكثفات وتحسين معامل القدرة .

٢) المحولات الكهربائية (الجزء الأول) .

٣) المحولات الكهربائية (الجزء الثانى) .

٤) الوقاية فى الشبكات الكهربائية (الجزء الأول) .

٥) التوافقيات فى الشبكات الكهربائية .

٦) جودة التغذية الكهربائية .

٧) الإضاءة وتوفير الطاقة .

٨) الوقاية فى الشبكات الكهربائية (الجزء الثانى) .

رقم الإيداع بدار الكتب القومية
١١٠٥٤ / ٩٦
I.S.B.N 977 - 5322 - 03 - 0
فى ٢٢ / ١٠ / ١٩٩٦

دار الجامعيين للطباعة
٣٧ ش السلطان عبد العزيز۔ الأزاريطة
ت : ٤٨٢٢٠٠٤